

LES HERBICIDES

Présentation des herbicides

Définition

Les herbicides sont appelés parfois désherbants, notamment en horticulture. Ce sont *des matières actives ou des produits formulés ayant la propriété de tuer les végétaux*. Cette définition peut sembler banale, mais son importance apparaîtra dans la suite du texte.

Composition

Comme tous les autres pesticides, un produit herbicide correspond d'abord au nom commercial du produit commercialisé par un distributeur ou un fabricant. Ce produit commercial ou spécialité commerciale se compose de deux types de constituants : les **matières actives** qui lui confèrent son activité herbicide et les **formulants** qui complètent la formulation. Les formulants sont soit des charges ou des solvants qui n'ont qu'un rôle de dilution des matières actives, soit des produits qui améliorent la préparation

- pour sa qualité :
 - ⇒ la stabilité (émulsifiant, dispersif, etc...),
 - ⇒ la présentation (colorant, parfum, répulsif, etc...),
 - ⇒ la facilité d'emploi (vomitif, etc...),
- pour son comportement physique lors de la pulvérisation : mouillant, adhésif, etc...
- pour son activité biochimique : surfactant, phytoprotecteur (*safener*).

La formulation

La formulation correspond à la forme physique sous laquelle le produit phytopharmaceutique est mis sur le marché ; obtenue par le mélange des matières actives et des formulants, elle se présente sous une multitude de formes, solides ou liquides. Les plus couramment répandues sont les suivantes :

- pour les formulations solides : les granulés solubles (abréviations : SG), les poudres mouillables (WG) ;
- pour les formulations liquides :
 - les concentrés solubles (SL), composés de produits solubles dans l'eau,
 - les concentrés émulsionnables (EC), composés de produits liquides en émulsion dans le produit,
 - les suspensions concentrées (SC), appelées (parfois *flow* de l'anglais *flowable*), composées de particules solides dispersées dans le produit.

Le type de formulation a une grande importance dans la manipulation des produits : fabrication, transport, stockage, préparation des bouillies ; par exemple, les suspensions concentrées auront tendance à sédimenter au cours du temps et il sera indispensable de les agiter avant l'emploi.

Les caractéristiques

Les caractéristiques d'un produit herbicide portent sur la désignation de la (ou des) matière(s) active(s), le nom du produit commercial, le fabricant et éventuellement du distributeur local, la teneur de la (ou des) matière(s) active(s) dans le produit, le type de formulation, le mode d'emploi, la dose d'emploi et la culture cible.

Le teneur en matière(s) active(s) s'exprime en g/l pour les formulations liquides et en pourcentage (%) pour les formulations solides.

La dose d'emploi en produit commercial s'exprime en l/ha pour les formulations liquides et en kg/ha (ou parfois en g/ha) pour les formulations solides. La dose d'emploi en matière active s'exprime toujours en g/ha.

Modes d'action des herbicides

Les herbicides se distinguent par rapport à leur voie de pénétration dans les végétaux et à leur déplacement dans la plante :

- herbicides à pénétration racinaire : appliqués sur le sol, ils pénètrent par les organes souterrains des végétaux (racines, graines, plantules) ; ce sont les traitements herbicides de pré-levée, effectués avant la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe) ;
- herbicides à pénétration foliaire : appliqués sur le feuillage, ils pénètrent par les organes aériens des végétaux (feuilles, pétioles, tiges) ; ce sont les traitements herbicides de post-levée, effectués après la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe) ;
- herbicides de contact : herbicides qui agissent après pénétration plus ou moins profonde dans les tissus, sans aucune migration d'un organe à un autre de la plante traitée ;
- herbicides systémiques : herbicides capables d'agir après pénétration et migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

Parmi les produits les plus employés, on peut citer les exemples suivants, dans les quatre catégories :

- 1 - herbicide de contact à pénétration racinaire : le métolachlor applicable en culture de cotonnier ou de maïs ;
- 2 - herbicide systémique à pénétration racinaire : l'atrazine en culture de maïs ;
- 3 - herbicide de contact à pénétration foliaire : le paraquat en désherbage total ;
- 4 - herbicide systémique à pénétration foliaire : le glyphosate, herbicide contre les espèces vivaces.

Les herbicides agissent sur différents processus de croissance et de développement des plantes : ils perturbent le fonctionnement de

- la physiologie de la plante : la photosynthèse ou la perméabilité membranaire ;
- la croissance : la division cellulaire, l'élongation, etc... ;
- la bio-synthèse des constituants cellulaires : lipides, pigments caroténoïdes, acides aminés, etc...

L'**efficacité** d'un herbicide dépend de la dose épanchée : on définit une dose limite d'efficacité qui peut varier en fonction de la plante ciblée et de la période d'application. Le *spectre d'efficacité* correspond à l'ensemble des espèces maîtrisées par un produit à une dose donnée.

La classification des herbicides

La classification des herbicides ne repose généralement pas sur leur nature chimique, trop diversifiée, ni sur leur spécificité, qui dépend souvent de la dose d'emploi et du type d'application. Par contre, il est possible de se baser sur la voie de pénétration et leur mode d'action :

- herbicides à pénétration par les organes souterrains
 - actions sur la photosynthèse :
 - ⇒ triazines : amétryne, atrazine, prométryne, terbutylazine, etc...
 - ⇒ diazines – uraciles : bromacile
 - ⇒ triazinones : hécazinone, métribuzine
 - ⇒ urées substituées : diuron, chlortoluron, etc...
 - action sur la division cellulaire :
 - ⇒ toluidines : pendiméthaline, trifluraline, etc...
 - action sur l'élongation cellulaire : alachlore, métazachlore, métolachlor, etc...
 - inhibition de la synthèse des caroténoïdes : isoxaflutole, clomazone
- herbicides à pénétration foliaire :
 - actions sur la photosynthèse :
 - ⇒ bipyridyles : paraquat, diquat,
 - ⇒ diazines : bentazone, pyridate, etc...
 - actions sur les membranes cellulaires :
 - ⇒ dinitrophénols : dinoterbe
 - ⇒ benzonitriles : ioxynil, bromoxynil
 - action sur la division cellulaire :
 - ⇒ carbamates : asulame
 - action sur l'élongation cellulaire :
 - ⇒ aryloacides : 2,4-D, 2,4-MCPA, dichlorprop (2,4-DP), mécoprop (MCP)
 - ⇒ dérivés picoliniques : triclopyr, piclorame
 - action sur la bio-synthèse
 - ⇒ acides aminés : glufosinate-ammonium, glyphosate, sulfosate
 - ⇒ lipides : graminicides (fluazifop-P-butyl, haloxyfop-R, etc...).

La sélectivité

D'après sa définition, l'herbicide est un produit qui a la propriété de tuer les végétaux ; cependant, en milieu cultivé, on va vouloir détruire les mauvaises herbes, mais conserver la culture traitée. Les herbicides seront dits **sélectifs** quand, utilisés dans des conditions normales d'emploi, ils respectent certaines cultures et permettent de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures. Ils seront dits **totaux** quand, utilisés aux doses

conseillées pour cet usage, ils sont susceptibles de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistances d'action variables.

La sélectivité des herbicides correspond à une modification d'au moins une des phases de l'action des produits dans la plante : mise en contact du produit avec la cible, pénétration, transport éventuel, site d'activité et métabolisme de dégradation. On distingue divers types de sélectivité :

- sélectivité de position : l'herbicide de pré-levée, appliqué en surface, ne se répartit que dans la couche superficielle du sol à quelques centimètres de profondeur. C'est dans cette zone que germe la plupart des espèces de mauvaises herbes, dont les graines sont de petites tailles : au contact du produit, elles subiront son activité herbicide. Au contraire, les semences des cultures sont positionnées plus profondément et échappent au contact du produit qui n'aura pas d'action sur leur germination.
- sélectivité d'application : il s'agit d'éviter le contact du produit avec la plante cultivée lors de la pulvérisation. L'herbicide est appliqué seulement sur les mauvaises herbes de l'inter-rang en prenant soin de ne pas atteindre la ligne de culture. Cette technique est employée surtout avec des herbicides totaux dans des cultures à grand écartement.
- sélectivité anatomique : ces types de sélectivité concernent principalement les produits de post-levée : la pénétration par les feuilles peut être gênée par la présence de poils ou par l'épaisseur de la cuticule de l'épiderme. Le port des feuilles modifie également l'adhérence de la pulvérisation à leur surface : les feuilles de graminées, dressées et étroites, retiennent moins bien les gouttelettes que celles des dicotylédones, souvent larges et étalées.
- sélectivité physiologique : la sélectivité peut être obtenue par des différences de comportement physiologique entre les végétaux : la sélectivité de l'atrazine pour le maïs tient en partie à son moins bon transport dans cette plante que dans les espèces sensibles et surtout à la présence d'enzymes qui dégradent la molécule d'atrazine, avant qu'elle ne parvienne à son site d'action, le chloroplaste.

Facteurs du milieu et comportement des herbicides

Les facteurs du milieu influencent l'efficacité des herbicides et la réussite des pulvérisations, mais également leur sélectivité : tout facteur qui améliorera l'efficacité d'un produit ou d'une pulvérisation, en réduira du même coup la sélectivité. Quatre éléments peuvent être pris en considération : le climat, le sol, la plante traitée et les techniques d'application.

Le climat

L'action des facteurs climatiques sur le comportement des herbicides se situe aussi bien avant la pulvérisation, que pendant ou après celle-ci.

- Avant l'application :

- Si la plante traitée subit une période de **sécheresse**, la cuticule des feuilles aura tendance à s'épaissir : dans ce cas, les produits de post-levée pénétreront moins facilement dans les feuilles.
- Une **pluie** avant l'application augmente l'humidité du sol, ce qui favorise la diffusion et la disponibilité des produits à pénétration racinaire,
- Pendant l'application :
 - Si la **température** est élevée ou si l'air est sec, les gouttelettes de bouillie risquent de s'évaporer avant d'avoir atteint leur cible ; ce phénomène est encore plus accentué dans le cas des pulvérisations en bas-volume.
 - La **rosée** : l'influence de la rosée sur les pulvérisations de post-levée dépend de son intensité : si la rosée est légère, c'est-à-dire si les gouttes ne tombent pas quand on touche les plantes, elle améliore la dilution du produit et facilite sa pénétration dans les feuilles. Au contraire, si la rosée est importante, c'est-à-dire si les gouttes tombent quand on touche les plantes, la pulvérisation sera captée par la rosée, entraînée sur le sol et perdue.
 - Le **vent** : il est déconseillé d'effectuer une application d'herbicide, si le vent est trop fort à cause du risque de dérive de la pulvérisation, qui n'est plus positionnée correctement et qui peut même causer des dégâts sur une parcelle voisine.
- Après l'application :
 - Pour les herbicides à pénétration racinaire (produits de pré-levée), épandus sur sol nu : une **pluie** après l'application améliore la disponibilité du produit à la surface du sol ; cependant, une pluie érosive qui survient après l'application risque d'entraîner le produit par ruissellement.
 - Pour les herbicides à pénétration foliaire (produits de post-levée), épandus sur le feuillage : la pluie diminue l'efficacité des produits par entraînement du dépôt ; le délai nécessaire entre la pulvérisation et la pluie dépend du produit et de la vigueur de la pluie.

Le sol

Les herbicides de pré-levée sont très dépendants de l'état physique du sol :

- Les applications seront peu régulières sur un sol trop motteux et la détérioration des **mottes** laissera apparaître du sol qui n'aura pas reçu de produit.
- Si le sol est couvert par un **paillis** dense, la pulvérisation sera captée et n'atteindra pas la zone racinaire.
- Leur disponibilité dans la solution du sol dépend de la **texture** : le produit est adsorbé par les feuillets d'argile ou les colloïdes de la matière organique. Dans ce cas, la dose d'emploi doit être augmentée. Avec les argiles, le produit retenu sera restitué progressivement dans la solution du sol et la persistance du produit sera augmentée. Inversement, la rémanence sera faible dans les sols riches en matières organiques, car les micro-organismes qu'ils contiennent, vont dégrader rapidement les produits. En sol sableux, les risques de phytotoxicité sont accrus, puisque tout le produit apporté est disponible.
- Ces pulvérisations ne diffusent convenablement en surface que si l'humidité du sol est suffisante.

La plante

L'efficacité des herbicides dépend de deux facteurs liés à leur cible, son espèce et son stade de développement :

- La spécificité des produits herbicides est un élément primordial du choix du produit, tant par rapport aux mauvaises herbes à détruire que pour la culture à protéger. Elle se définit par le spectre d'efficacité et la sélectivité des produits.
- La destruction d'une mauvaise herbe au stade plantule demandera moins de produit qu'une plante adulte. De plus, la pulvérisation de produits de post-levée atteint difficilement les parties basses des végétaux trop développés à cause d'un effet "parapluie".
- La sensibilité d'une plante dépend de son stade de développement : par exemple, la cuticule des feuilles de maïs s'amincit à partir de la sixième feuille ; à ce stade, les risques de phytotoxicité des produits de post-levée sont plus élevés pour le maïs.

Les conditions d'application

La réussite d'une application d'herbicide est conditionnée par les règles suivantes :

- Le **produit** employé est choisi en fonction de la flore des mauvaises herbes à maîtriser et de l'itinéraire technique de la culture. Les **mélanges** de produits lors d'une même application, ainsi que les **programmes** de traitements sur l'ensemble du cycle cultural, sont raisonnés en tenant compte des caractéristiques de chacune des matières actives employées, pour éviter les assemblages inutiles et pour adapter les doses à épandre.
- Les **doses** d'application sont respectées ; souvent, on constate que les agriculteurs ont tendance à réduire les doses de produits, pour diminuer les coûts et éviter les risques de phytotoxicité et que les traitements ne sont pas réalisés régulièrement en ligne : ces épandages de mauvaise qualité ne permettent pas une bonne répartition du produit sur la parcelle et créent des zones où le produit est sous-dosé, donc inefficace, et des zones où le produit est surdosé, donc phytotoxique.
- Le produit est appliqué à l'**époque** d'intervention préconisée ; par exemple, les produits de pré-levée ne doivent pas être appliqués sur des plantes déjà levées ; les herbicides de post-levée sont épandus en fonction du stade de développement des mauvaises herbes, en particulier s'ils ont une action de contact. Ils seront d'autant plus efficaces que les cibles visées sont jeunes ; par exemple, en riziculture, une application de propanil trop tardive se traduit par une mauvaise efficacité sur *Poaceae*. Le propanil qui agit par contact, doit être appliqué sur des plantes très jeunes (stade 3-4 feuilles) pour être efficace sur *Poaceae*.
- L'utilisation d'**appareils** adaptés aux pulvérisations d'herbicides, équipés de buses à jet plat (obtenu avec des buses pinceau ou miroir), alors que l'on rencontre fréquemment des agriculteurs utilisant des appareils prévus pour les pulvérisations d'insecticides (pulvérisateurs équipés de buses à jet conique à turbulence, voire atomiseurs à moteur) ; de plus, un soin particulier doit être demandé aux opérateurs pour son réglage et pour son entretien après usage (rinçage, nettoyage, ...).
- L'**étalonnage** des appareils doit faire l'objet d'une vérification régulière, afin de corriger les défauts des appareils (usure des buses) ou les défaillances des opérateurs ; la quantité de bouillie épandue par hectare doit être déterminée, pour faire les calculs de dilution de la bouillie.
- La préparation de la **bouillie** est également un élément important de la pulvérisation :

afin d'éviter le bouchage des buses, il est indispensable d'employer une eau de bonne qualité pour la préparation des bouillies, d'utiliser un filtre et de s'assurer de l'homogénéité du mélange.

- La technique d'application doit être bien maîtrisée ; il est indispensable que la répartition sur la surface traitée soit parfaitement homogène, ce qui impose la régularité du débit de l'appareil et de la vitesse d'avancement.
- Les **précautions** d'emploi et les risques de toxicité ne doivent pas être négligés.
- L'emploi d'herbicides de pré-levée a des conséquences sur la suite de l'itinéraire technique : par exemple, l'impossibilité de travailler le sol après l'épandage d'un herbicide de pré-levée.

Le devenir des herbicides dans le milieu

Comme les autres pesticides, les herbicides se dégradent plus ou moins rapidement après leur application dans le milieu :

- ils participent en partie au métabolisme dans la plante cible ;
- d'après les études réalisées en milieu tempéré, une faible part est exportée par volatilisation dans l'air, par ruissellement par les pluies ou par lessivage dans les couches inférieures du sol ;
- une part est adsorbée par les argiles et les matières organiques du sol avant de subir une dégradation biochimique et microbiologique.

La **rémanence** ou persistance d'action correspond à la durée pendant laquelle un produit herbicide manifeste son activité ; il est toujours nécessaire de s'assurer de l'absence d'arrière-effet d'un produit sur la culture suivante.

La toxicité des produits

Comme le montre le tableau suivant, hormis le paraquat ou l'ioxynil, les herbicides ont un niveau de toxicité relativement modéré (voir le tableau en annexe)

Exemple de doses létales 50 (DL 50) d'herbicides, de pesticides et de quelques produits de consommation courante.

matière active		DL 50 (rat ingestion) mg/kg
herbicides	pesticides produits courants	
	parathion méthyl (insecticide)	14
	nicotine	50
paraquat		157
	cyperméthrine (insecticide)	251
2,4-D		375
bentazone		1.100
	triadiménol (fongicide)	1.160

matière active		DL 50 (rat ingestion) mg/kg
herbicides	pesticides	
	produits courants	
	aspirine	1.750
métolachlor		2.780
atrazine		3.080
diuron		3.400
	sel de cuisine	3.850
glyphosate		4.900
fluométuron		6.400

Des précautions d'emploi sont néanmoins nécessaires lors des manipulations, des préparations des bouillies et des applications. Les appareils de pulvérisation doivent être nettoyés avec soin et les emballages de produits détruits. L'opérateur doit se rincer et changer de vêtements.

Le choix de l'herbicide

La mise en œuvre d'une technique de lutte ne peut pas répondre à un schéma unique de désherbage, mais constitue une prise de décision complexe qui dépend

- de l'état d'enherbement potentiel ou en présence (espèces des mauvaises herbes, stade de développement),
- de la culture (pure ou associée),
- de l'itinéraire technique pratiqué,
- des contraintes de calendrier cultural,
- de l'état de surface de la parcelle (type de sol, mode de travail du sol, humidité),
- de l'équipement disponible,
- des aspects économiques (rentabilité de l'opération, disponibilité monétaire),
- des possibilités d'approvisionnement pour les herbicides.

Dans le cas de cultures associées, le facteur essentiel est la sélectivité des herbicides employés par rapport à toutes les cultures en présence dans l'association. Il faudra donc, parmi les herbicides utilisables sur l'une ou l'autre des cultures, vérifier qu'il en existe au moins un qui soit bien sélectif de chacune des cultures à la dose employée en fonction des époques d'application et des stades de développement des plantes cultivées.

La rotation d'herbicides

L'emploi continu des mêmes produits herbicides conduit inévitablement à des sélections de flore, c'est-à-dire des peuplements souvent monospécifiques, constitués des espèces sur lesquelles ces matières actives ne sont pas efficaces. On parle parfois d'*inversion de flore*. Ces nouvelles populations ne peuvent être maîtrisées que si l'on modifie les techniques de

désherbage ou du moins si l'on diversifie les produits utilisés en choisissant d'autres familles chimiques qui auront d'autres sites d'action.

Dans les inversions de flores, il faut distinguer deux types de comportement :

- soit l'espèce ne fait pas partie du spectre d'efficacité du produit employé et sa sélection par le traitement herbicide est tout à fait prévisible. Il y a alors simplement inefficacité de l'herbicide sur cette espèce, dite tolérante ;
- soit il s'agit d'une population sur laquelle le produit est normalement actif, mais il peut arriver que certains individus ne soient pas touchés par le produit ; ces plantes non détruites vont se développer et se multiplier, créant ainsi une nouvelle population, que l'on qualifie alors de résistante.

Les variétés génétiquement modifiées résistantes à un herbicide

La sélection de variétés résistantes ou l'introduction de gènes de résistance à un herbicide dans des variétés cultivées ouvre une nouvelle voie dans la maîtrise de l'enherbement. C'est le cas par exemple de la lutte contre les riz adventices. Le produit, généralement un herbicide total mais parfaitement sélectif de la variété génétiquement modifiée, pourrait être appliqué avec une grande efficacité sur les mauvaises herbes et sans risque pour la culture. Toutefois, se pose le problème de la fuite du gène de résistance à un herbicide dans le cas d'espèces de mauvaises herbes très proches de la culture, comme les riz adventices. Une pollinisation croisée serait possible entre riz adventice et riz cultivé. Il pourrait alors y avoir invasion par des riz adventices résistants d'autant plus rapide qu'une forte pression herbicide serait appliquée sur plusieurs cycles successifs. Ainsi, il peut y avoir un risque éventuel de pollution génétique, si des variétés de riz dérivées de transformations génétiques sont développées

LES MAUVAISES HERBES : CONCURRENCE ET NUISIBILITE

Définition

Une plante ne prend le statut de mauvaise herbe que par rapport à une activité humaine. En dehors de l'agriculture, on peut avoir à faire face à des problèmes d'enherbement dans de nombreuses situations : les sociétés de chemin de fer consomment de grandes quantités d'herbicides pour l'entretien des voies ferrées, comme les municipalités pour le nettoyage des trottoirs et des espaces publics.

On peut définir une mauvaise herbe comme *une plante qui pousse là où l'on ne la désire pas*.

Même en agriculture, aucune plante ne peut être définie a priori comme une mauvaise herbe :

- ✓ une plante cultivée devient mauvaise herbe quand ses repousses se développent dans la culture suivante de la rotation (par exemple, des repousses de pomme de terre dans du maïs) ;
- ✓ dans les systèmes traditionnels des zones tropicales, les agriculteurs, n'éliminent pas toutes les plantes spontanées qui ont poussé dans leurs cultures : ils conservent certaines espèces qui pourront être employées par la suite pour les préparations culinaires ou comme plantes médicinales ; cela n'est possible que si le désherbage est fait manuellement.

Le terme d'adventice, fréquemment employé pour désigner une mauvaise herbe, correspond, en fait au sens botanique, à une plante introduite dans un milieu dont elle n'est pas originaire ; le dictionnaire en donne actuellement la définition suivante : « plante qui croît sur un terrain cultivé sans y avoir été semée ».

La nuisibilité

La concurrence (ou nuisibilité directe)

La concurrence que les mauvaises herbes exercent sur la culture, se décompose en deux éléments : la compétition et l'allélopathie (appelée aussi télétoxicité).

La compétition

Les mauvaises herbes entrent en compétition avec les plantes cultivées pour l'exploitation des ressources du milieu : lumière, eau, éléments nutritifs, espace.

- La lumière est un facteur essentiel de la croissance des végétaux. Quand les mauvaises herbes se développent plus vite que la culture, sa production est limitée par leur ombrage, qui réduit sa synthèse chlorophyllienne.
- L'eau constitue souvent un facteur limitant de la production, en particulier dans les zones sèches.
- Les éléments nutritifs sont largement consommés par les mauvaises herbes, qui ont une croissance rapide et vigoureuse, au détriment de la plante cultivée.
- L'espace, aussi bien pour les parties aériennes que pour le système souterrain, est aussi limité ; la place occupée par les mauvaises herbes n'est pas disponible pour la plante cultivée.

L'allélopathie

Caussanel (1975) définit l'allélopathie comme l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain. Les substances allélopathiques peuvent être émises par quatre voies :

- *volatilisation* : notamment pour les plantes des régions arides ;
- *lessivage* des parties aériennes : le lessivage des feuilles d'*Abutilon theophrasti* Médik. inhibe le développement du soja ;
- *décomposition* des organes morts : les résidus de récolte ou les pailis peuvent poser des problèmes pour la culture suivantes ;
- *exsudats racinaires* : il peut y avoir émission par les racines vivantes ou libération par les parties mortes.

Dans les situations naturelles, il est difficile de différencier l'importance relative de ces deux aspects. Ces phénomènes d'allélopathie ont souvent été décrits chez des espèces de la famille des *Asteraceae*.

Les composés allélopathiques sont en majeure partie des métabolites secondaires, qui ne jouent aucun rôle dans le métabolisme de base de la plante émettrice :

- *gaz toxiques* : le cyanure ou l'ammoniac inhibe la germination et la croissance des plantes, alors que l'éthylène stimule la germination.
- *acides organiques* : l'acide citrique inhibe la germination à [0,1%] ; les acides oxalique ou acétique, très abondants, peuvent inhiber la germination.
- *composés aromatiques* : acides phénoliques ; coumarines (parmi les composés naturels les plus phytotoxiques) ; alcaloïdes (caféine et nicotine) ; flavonoïdes ; tannins ; quinone ; terpénoïdes (camphre).

Les effets des substances allélopathiques sur la germination ou sur la croissance des plantes-cibles ne sont que les signes secondaires de modifications primaires. En fait, peu d'effets spécifiques sont attribuables à ces produits, qui ont aussi bien des actions inhibitrices que des actions stimulantes. Il est important de remarquer que les doses efficaces sont la plupart du temps très faibles et qu'on observe de fortes variations (inhibition ou stimulation) en fonction de la dose.

En situation naturelle, il semble que l'allélopathie contribue à la répartition spatiale des espèces et à l'organisation des successions végétales. Les phénomènes allélopathiques trouvent également de nombreuses applications dans le domaine de l'agriculture :

- *concurrence des mauvaises herbes* sur la culture : les propriétés allélopathiques ont été mises en évidence pour plus de 90 espèces de mauvaises herbes ;

- *lutte contre les mauvaises herbes* : on envisage la sélection de variétés ayant un pouvoir allélopathique, par exemple pour le riz ; des substances allélopathiques peuvent servir à l'élaboration d'herbicides, comme la cynméthylène développé par Shell à partir de cinéol (composé terpénique de l'eucalyptus) pour le désherbage des cultures de soja, d'arachide et de cotonnier ;
- *gestion des rotations culturales* : on observe des effets d'une culture sur la suivante, soit à cause de phénomènes d'autotoxicité (le sorgho ou le riz pluvial peut subir un effet dépressif s'il est implanté après un précédent de la même culture, avec de fortes variations variétales), soit à travers des successions nettoyantes (dans le cas de la culture de tournesol) ; les associations de cultures peuvent être perturbées par des substances allélopathiques (par exemple, leur action sur la fixation de l'azote peut gêner l'établissement des légumineuses dans les prairies).
- *itinéraires techniques* : la présence de résidus de récolte constitue, actuellement, un problème qui prend de l'importance avec le développement des techniques de travail minimum. L'enfouissement des résidus de récolte permet de diluer les composés allélopathiques libérés par leur décomposition et de limiter leurs effets sur la culture suivante. Les phénomènes d'allélopathie sont pris en compte dans la gestion des plantes de couverture.

Seuil et période critique de nuisibilité

Le seuil de nuisibilité correspond au niveau de population de mauvaises herbes (densité, biomasse) qui entraîne une baisse de production déterminée (cette baisse peut être fixée par rapport à un coût de désherbage). On manque actuellement de références en milieu tropical pour fixer avec précision ces seuils qui dépendent de la culture considérée, de l'espèce de mauvaises herbes et des conditions de milieu naturel et cultural.

Les expérimentations sur la nuisibilité des mauvaises herbes comparent différentes modalités d'entretien pour estimer l'effet

- d'un retard de nettoyage (l'entretien de la culture commence de plus en plus tard après l'implantation) ;
- d'un arrêt de nettoyage (l'entretien qui commence dès l'implantation, s'arrête de plus en plus tôt).

Pour les cultures annuelles à cycle court, comme le cotonnier, le maïs ou le riz, l'agressivité des mauvaises herbes se fait sentir dès 10 à 15 jours après le semis, alors qu'à partir de 45 à 60 jours après le semis, la plante cultivée n'en subit plus la concurrence, si le feuillage a recouvert l'inter-rang. La période critique de nuisibilité se situe donc entre 15 et 45 jours après le semis.

Pour les cultures à cycle long, comme l'igname, le manioc ou la canne à sucre, cette période est doublée et se situe entre 30 et 90 jours après la plantation. Par exemple, d'après les tests de nuisibilité conduit sur canne à sucre, on peut estimer que si aucune intervention de désherbage n'est effectuée après le premier mois de culture, la production de canne chute chaque jour de 300 à 500 kg/ha.

La nuisibilité indirecte

A cette nuisibilité directe sur les quantités produites, il faut ajouter également la nuisibilité indirecte des mauvaises herbes, par exemple :

- ◆ la qualité des récoltes est dépréciée :
 - en récolte mécanique, les mauvaises herbes ramassées en même temps que les tiges de canne, perturbent la fabrication du sucre ;
 - la présence de quelques graines de *Rottboellia cochinchinensis* déprécie un lot de semences de riz ;
 - les espèces qui fleurissent en fin de cycle (*Pennisetum spp.*, *Eragrostis spp.*, *Blumea aurita*, *Laggera pterodonta*, etc...) salissent les fibres de coton lors de la récolte ;
- ◆ les travaux agricoles sont rendus plus difficiles, si la circulation dans les parcelles est gênée ;
- ◆ de nombreuses espèces de mauvaises herbes sont des hôtes secondaires pour les maladies ou les ravageurs des cultures ;
 - la graminée, *Setaria barbata*, est une plante-hôte réservoir du virus de la striure chlorotique ou Maize Streak Virus (MSV) transmis sur la canne à sucre par une ciccadelle (*Ciccadulina mbila*) ;
 - la culture de canne à sucre, qui est insensible au flétrissement bactérien, est un moyen de lutte contre cette maladie ; à condition que la parcelle soit parfaitement désherbée, car de nombreuses mauvaises herbes hébergent cette bactérie, *Ralstonia solanacearum* (syn. *Pseudomonas solanacearum*) et permettront le maintien de l'infestation pour la culture suivante ;
 - les pucerons ou les aleurodes (*Bemisia sp.*) sont plus abondants quand les parcelles de cotonnier sont mal désherbées.

A contrario, la canne à sucre est plus sensible aux dégâts de ver blanc (*Hoplochelus marginalis*) quand le champ est très propre, car les larves du parasite se répartissent sur l'ensemble des racines disponibles dans le sol, aussi bien celles des mauvaises herbes que celles de la canne.

INCIDENCE DES MEDIATEURS CHIMIQUES DANS LE SOL SUR LES POPULATIONS D'ADVENTICES ET DE PLANTES CULTIVEES

Introduction

Dès l'antiquité, l'homme a observé que certains végétaux gênaient le développement d'autres espèces voisines : Théophraste (III^e av.JC) remarquait que le pois chiche détruisait les mauvaises herbes et Pline (I^{er} ap.JC) que le noyer ne laissait pousser aucune plante sous son feuillage. Au siècle dernier, de Candolle suggéra que la fatigue des sols pourrait être due à des exsudats des cultures. En 1937, Molisch précisa le phénomène et créa la terme d'allélopathie.

Les phénomènes de concurrence entre végétaux se composent d'une part de la compétition pour les ressources du milieu (eau, air, élément minéraux, espace) et d'autre part de l'**allélopathie** (ou télétoxicité).

Mode d'émission des substances :

- *volatilisation* : notamment pour les plantes des régions arides et de la garrigue méditerranéenne (*Eucalyptus*, *Salvia*).
- *lessivage* des parties aériennes : c'est le cas du noyer. Le lessivage des feuilles d'*Abutilon theophrasti* Medik. inhibe le développement du soja.
- *décomposition* des organes morts : problèmes des résidus de récolte.
- *exsudats racinaires* : émission des racines vivantes ou libération des parties mortes.

Nature chimique :

Les composés allélopathiques sont en majeure partie des métabolites secondaires, qui ne jouent aucun rôle dans le métabolisme de base de la plante émettrice.

- *gaz toxiques* : le cyanure ou l'ammoniac inhibe la germination et la croissance des plantes, alors que l'éthylène stimule la germination.
- *acides organiques* : l'acide citrique inhibe la germination à [0,1%] ; les acides oxalique ou acétique, très abondants, peuvent inhiber la germination.
- *composés aromatiques* : acides phénoliques, coumarines (parmi les composés naturels les plus phytotoxiques) ; alcaloïdes : caféine et nicotine ; flavonoïdes, tannins : peu efficace ; une quinone, la juglone du noyer, inhibe la croissance des plantes herbacées comme la luzerne, mais également des arbres comme le pommier.
- *terpénoïdes* : *Salvia* et *Eucalyptus* (camphre)

Facteurs influant la production :

- *conditions du milieu* : lumière (qualité, intensité et photopériode), température, stress hydrique.
- *éléments minéraux* : une déficience en azote ou en phosphate augmente la production de scopolétine chez le tabac.

- *espèces productrices* : variétés, organes (racines, feuilles, fleurs, fruits).
- *facteurs biotiques* : attaques parasitaires (et emploi de pesticides).

En règle générale, les stress ont tendance à augmenter la production de composés allélopathiques (réponse à l'agressivité du milieu ?), mais on observe de nombreuses exceptions.

Devenir des substances

- Quel que soit le mode d'émission par la plante productrice, les substances vont évoluer et migrer dans le milieu : volatilisation, ruissellement, lessivage, dégradation.
- Rôle important des microorganismes du sol : par exemple, la dhurrine émise par *Sorghum halepense* (L.) Pers. est transformée par l'action des microorganismes en acide cyanhydrique et p-hydroxybenzaldéhyde.

Modes d'action

Les effets des substances allélopathiques sur la germination ou sur la croissance des plantes-cibles ne sont que les signes secondaires de modifications primaires.

En fait, peu d'effets spécifiques sont attribuables à ces produits, qui ont aussi bien des actions inhibitrices que des actions stimulantes.

Il est important de remarquer que les doses efficaces sont la plupart du temps très faibles ($\mu\text{M/l}$) et qu'on observe de fortes variations (inhibition ou stimulation) en fonction de la dose.

- *division cellulaire* : la coumarine inhibe la mitose dans les racines d'oignon.
- *croissance et synthèse* : les composés phénoliques ont une action sur la régulation des hormones de croissance.
- *photosynthèse et respiration* : la scopolétine réduit la photosynthèse chez le tournesol et le tabac par fermeture des stomates.
- *perméabilité membranaire* : les composés phénoliques accroissent le flux de potassium hors des tissus racinaires.
- *absorption minérale* : acide férulique inhibe l'absorption de potassium par les plantes (confusion avec les effets de la compétition).
- *cycle de l'azote* : fixation de l'azote et nitrification.

Un même composé peut avoir de multiples sites d'action : par exemple, l'acide férulique agit aussi bien sur la respiration mitochondriale que sur la synthèse de la chlorophylle et l'activité des hormones de croissance.

Facteurs influant l'activité des substances

- *nature du sol* : les composés allélopathiques ont une activité réduite lorsqu'ils sont fixés par les argiles ou la matière organique, alors qu'ils sont totalement disponibles dans un sol très sableux ; un amendement calcaire aurait la propriété de lier ces composés et de les inactiver.
- *eau* : un apport d'eau dilue les substances et diminue leur activité (rôle du drainage).
- *état de la plante réceptrice* : stress.
- *substance actives* : durée de vie des substances (décomposition, migration) - synergie.

Définition de l'allélopathie

Ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain (Caussanel, 1975).

Application de l'allélopathie

En situation naturelle, il semble que l'allélopathie doive contribuer à la répartition spatiale des espèces et à l'organisation des successions végétales.

Le tapis herbacé des zones de forêt de montagne (myrtilles, fougères) libère des acides phénoliques qui empêchent la germination des épicéas, qui pourraient être protégés par des mycorhizes sélectionnés.

Les phénomènes allélopathiques trouvent de nombreuses applications dans le domaine de l'agriculture.

Concurrence des mauvaises herbes sur la culture

- les propriétés allélopathiques ont été mises en évidence pour plus de 90 espèces de mauvaises herbes, par exemple, *Agropyrum repens* (L.) P.Beauv. (chiendent), *Chenopodium album* L. (chénopode).

Lutte contre les mauvaises herbes

- *sélection de variétés* ayant un pouvoir allélopathique : avoine, tournesol, concombre et riz.
- *élaboration d'herbicides* : cynméthylène développé par Shell à partir de cinéol (composé terpénique de l'eucalyptus) pour le désherbage des cultures de soja, d'arachide et de cotonnier.

Gestion des rotations culturales : effets sur la culture suivante.

- *autotoxicité* : le blé peut subir un effet dépressif s'il est implanté après une précédente culture de blé avec de fortes variations variétales. Le sorgho ou la luzerne ont le même comportement. Un exemple de limitation des risques d'autotoxicité : cas du riz pluvial et du riz irrigué.
- *successions nettoyantes* : culture de tournesol.
- *cultures associées* : l'action des substances allélopathiques sur la fixation de l'azote peut perturber l'établissement des légumineuses dans les prairies.

Itinéraires techniques

- *résidus de récoltes* : c'est actuellement un problème qui prend de l'importance avec le développement des techniques de travail minimum. L'enfouissement des résidus de récoltes permet de diluer les composés allélopathiques libérés par leur décomposition et de limiter leurs effets sur la culture suivante.
- *plantes de couverture* : une couverture permanente du sol réduit la prolifération des mauvaises herbes par l'obscurité qu'elle dispense, par la compétition pour les ressources du milieu et, aussi, par des effets allélopathiques fréquemment suggérés par l'expérience.

Bibliographie

- CAUSSANEL J.P., 1975. Phénomène de concurrence par l'allélopathie entre adventices et plantes cultivées. *COLUMA-EWRC. Cycle international de perfectionnement en malherbologie*. 7 p.
- DOBREMEZ J.F., GALLET C. & PELLISSIER F., 1995. La guerre chimique chez les végétaux. *La recherche*. 26. 912-916.
- PUTNAM A.R. & TANG C.-S., 1986. The Science of allelopathy. *Wiley Interscience*. USA. 317 p.
- RICE E.L., 1984. Allelopathy. Physiological ecology. *Academic Press Inc*. 413 p.
- RIZVI S.J.H. & RIZVI V., 1991. Allelopathy : basic and applied aspects. *Chapman and Hall*, New-York. 480 p.
- THOMSON A.C., 1985. The chemistry of allelopathy : biochemical interactions among plants. American Chemical Society Symposium series 268. 470 p.
- LANCE C., REBOUL V., DE RAÏSSAC M., MARNOTTE P., 1996. Mise en évidence d'effets allélopathiques de *Calopogonium mucunoides* Desv. 10^e Coll. Int. sur la biologie des mauvaises herbes. Dijon (France). 11-13 sept. 1996. 83-89.

CHOIX D'UN PRODUIT HERBICIDE SELECTIF D'UNE CULTURE

Le cas de l'emploi des herbicides totaux (herbicide qui, utilisé aux doses conseillées pour cet usage, est susceptible de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistances d'action variables) à la préparation de la parcelle ou en application dirigée (traitement effectué avec un herbicide non sélectif en protégeant la plante cultivée lors de l'application) est traité par ailleurs. La démarche ne considère que le choix d'un **herbicide sélectif** (herbicide qui, utilisé dans des conditions normales d'emploi, respecte certaines cultures et permet de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures) et de la modulation de la dose (quantité de matière active ou de préparation appliquée par unité de surface traitée pour éviter toute ambiguïté, on exprime en grammes, les doses de matières actives, et kilogrammes ou en litres, les doses de spécialités).

Hormis les considérations propres à la parcelle cultivée (culture, enherbement, itinéraire technique), le choix d'un herbicide dépendra également de l'équipement disponible, des aspects économiques (rentabilité de l'opération, disponibilité monétaire) et des possibilités d'approvisionnement.

Démarche

1- **QUELLE EST LA CULTURE PRATIQUEE ?** → c'est le critère de sélectivité des produits qui permet de définir la liste des herbicides utilisables sur une culture donnée

- culture simple
 - ⇒ quels sont les produits disponibles pour cette culture ? Les produits disponibles dépendent de la structure d'approvisionnement mis en place par les services de développement ou par le secteur privé.
- ou culture associée
 - ⇒ quels sont les produits sélectifs des cultures présentes ? Dans le cas de cultures associées, le facteur essentiel est la sélectivité des herbicides employés par rapport à toutes les cultures en présence dans l'association. Il faudra donc, parmi les herbicides utilisables sur l'une ou l'autre des cultures, vérifier qu'il en existe au moins un qui soit bien sélectif de chacune des cultures à la dose employée en fonction des époques d'application et des stades de développement des plantes cultivées.

2- **QUELLES SONT LES MAUVAISES HERBES DOMINANTES A MAITRISER ?**

- espèces vivaces : *Imperata cylindrica*, *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, etc... La plupart du temps, la maîtrise de ces espèces nécessite des interventions en dehors du cycle cultural avec des produits totaux.

- espèces annuelles : il est impératif de vérifier le spectre d'efficacité des produits (ensemble des espèces maîtrisées par un produit à une dose donnée)
 - ⇒ monocotylédones
 - graminées : *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Rottboellia cochinchinensis*, etc...
 - cypéracées : *Kyllinga squamulata*, etc...
 - autres : *Commelina benghalensis*, etc...
 - ⇒ dicotylédones : *Amaranthus viridis*, *Tridax procumbens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Euphorbia heterophylla*, etc...

3- **A QUELLE EPOQUE INTERVENIR ?** → La place de l'intervention de désherbage dans l'itinéraire technique est conditionnée par les possibilités d'intervention selon les équipements disponibles et les contraintes du calendrier cultural (organisation du travail). L'époque d'application définit le type de produit à employer.

- produit de pré-semis : l'herbicide est appliqué après la préparation du sol et avant le semis de la culture ; cela permet notamment l'incorporation des produits volatils ou photodégradables
 - ⇒ l'enfouissement est-il possible ?
- produit de post-semis / pré-levée : traitement effectué aussitôt après le semis de la culture et avant la levée de la culture et des mauvaises herbes
 - ⇒ l'état du sol permet-il le positionnement du produit ?
 - présence de résidus de récolte : Si le sol est couvert par un paillis dense, la pulvérisation sera captée et n'atteindra pas la zone racinaire
 - présence de mottes grossières : Les applications seront peu régulières sur un sol trop motteux et la détérioration des mottes laissera apparaître du sol qui n'aura pas reçu de produit.
 - l'humidité du sol est-elle suffisante ? Les pulvérisations ne diffusent convenablement en surface que si l'humidité du sol est suffisante.
- produit de post-levée précoce : traitement effectué avant la levée de la culture, mais après celle des mauvaises herbes, associant un herbicide de pré-levée et un herbicide de post-levée.
 - ⇒ à employer si des levées de mauvaises herbes se sont produites au moment du semis. Ces plantules risquent de ne pas être atteintes par un produit de pré-levée ; l'adjonction d'un produit de post-levée permettra leur destruction.
- produit de post-levée : traitement effectué après la levée de la culture et des mauvaises herbes
 - ⇒ quel est le stade de la culture :
 - la sensibilité d'une plante dépend de son stade de développement : par exemple, la cuticule des feuilles de maïs s'amincit à partir de la sixième feuille ; à ce stade, les risques de phytotoxicité des produits de post-levée sont plus élevés pour le maïs.
 - la pulvérisation de produits de post-levée atteint difficilement les parties basses des végétaux trop développés à cause d'un effet "parapluie".
 - ⇒ risque de pluie : pour les herbicides à pénétration foliaire (produits de post-levée), épandus sur le feuillage : la pluie diminue l'efficacité des produits par

entraînement du dépôt ; le délai nécessaire entre la pulvérisation et la pluie dépend du produit et de la vigueur de la pluie.

4- DOIT-ON MODULER LA DOSE D'APPLICATION ?

La dose préconisée est déterminée par rapport à une situation moyenne de milieu (sol, climat). Il est parfois nécessaire d'adapter cette dose aux conditions particulières de la parcelle considérée.

- pour les produits de pré-levée
 - ⇒ taux de matière organique et d'argile : la disponibilité des herbicides dans la solution du sol dépend de la texture : le produit est adsorbé par les feuillets d'argile ou les colloïdes de la matière organique. Dans ce cas, la dose d'emploi doit être augmentée. Avec les argiles, le produit retenu sera restitué progressivement dans la solution du sol et la persistance du produit sera augmentée. Inversement, la rémanence sera faible dans les sols riches en matière organiques, car les micro-organismes qu'ils contiennent, vont dégrader rapidement les produits.
 - augmenter les doses de 30 à 50 %, si le sol est riche en matière organique (taux > 2 %) ou en argile (taux > 30-50 %)
 - ⇒ réduire les doses de 25 %, si le sol est très sableux et filtrant : en sol sableux, les risques de phytotoxicité sont accrus, puisque tout le produit apporté est disponible.

- pour les produits de post-levée
 - ⇒ ajuster la dose selon l'espèce à maîtriser
 - espèces vivaces ou démarrage de souche → dose forte
 - espèces annuelles issues de germination → dose réduite
 - ⇒ ajuster la dose au stade de développement de la mauvaise herbe : La destruction d'une mauvaise herbe au stade plantule demandera moins de produit qu'une plante adulte.

Exemples 1 :

1- QUELLE EST LA CULTURE PRATIQUEE ? → culture de riz pluvial

→ les produits disponibles pour le riz sont

- des produits de pré-levée
 - l'oxadiazon
 - la combinaison prétilachlore + diméthamétryne
- des produits de post-levée
 - la combinaison triclopyr + propanil

2- QUELLES SONT LES MAUVAISES HERBES DOMINANTES A MAITRISER ?

→ Deux espèces sont dominantes : une graminée, *Digitaria horizontalis*, et une astéracée, *Ageratum conyzoides* → l'oxadiazon efficace sur les graminées, ne l'est pas sur les astéracées.

3- A QUELLE EPOQUE INTERVENIR ?

→ L'agriculteur souhaite intervenir en pré-levée de la culture → la combinaison prétilachlore + diméthamétryne pourra être employée.

4- DOIT-ON MODULER LA DOSE D'APPLICATION ?

→ La dose sera augmentée si le sol est très argileux.

Exemples 2 :

1- QUELLE EST LA CULTURE PRATIQUEE ? → culture de cotonnier

→ les produits disponibles sont

- des produits de pré-levée
 - le diuron,
 - la combinaison fluométuron + prométryne
 - la combinaison métolachlor + dipropétryne
 - la pendiméthaline
- des produits de post-levée anti-graminée
 - le fluazifop-P-butyl

2- QUELLES SONT LES MAUVAISES HERBES DOMINANTES A MAITRISER ?

→ La flore des mauvaises herbes est dominée par une graminée *Rottboellia cochinchinensis*.

→ la pendiméthaline et le fluazifop-P-butyl sont efficaces sur *Rottboellia cochinchinensis*.

3- A QUELLE EPOQUE INTERVENIR ?

→ L'agriculteur souhaite intervenir en post-levée de la culture → le fluazifop-P-butyl conviendra.

4- DOIT-ON MODULER LA DOSE D'APPLICATION ?

→ La dose sera ajustée selon le stade de développement de la population de la mauvaise herbe.

Exemples 3 :

1- QUELLE EST LA CULTURE PRATIQUEE ? → culture associée d'igname et de maïs

→ les produits disponibles pour l'igname sont

- des produits de pré-levée
 - la métribuzine,
 - la combinaison métolachlor + atrazine
 - la combinaison amétryne + atrazine
- des produits de post-levée anti-graminée
 - le fluazifop-P-butyl

→ les produits disponibles pour le maïs sont

- des produits de pré-levée
 - la combinaison métolachlor + atrazine
- des produits de post-levée
 - le nicosulfuron

→ La combinaison métolachlor + atrazine est utilisable sur les deux cultures.

2- QUELLES SONT LES MAUVAISES HERBES DOMINANTES A MAITRISER ?

→ La flore des mauvaises herbes est diversifiée avec graminées (*Digitaria horizontalis*) et dicotylédones (*Amaranthus viridis*, *Tridax procumbens*) : il est nécessaire de prendre un produit à spectre large : la combinaison métolachlor + atrazine convient.

3- A QUELLE EPOQUE INTERVENIR ?

→ L'agriculteur souhaite intervenir en pré-levée des cultures → la combinaison métolachlor + atrazine convient

4- DOIT-ON MODULER LA DOSE D'APPLICATION ?

→ La dose sera augmentée si le sol est très argileux.

LA FLORE DES MAUVAISES HERBES

L'identification des mauvaises herbes

Les techniques de lutte contre l'enherbement sont souvent spécifiques ; elles ne peuvent être mises en œuvre que si les espèces constituant l'enherbement sont bien identifiées.

En culture pluviale, les mauvaises herbes se regroupent en deux classes : les monocotylédones et les dicotylédones, qui se distinguent typiquement par la disposition des nervures secondaires des feuilles par rapport à la nervure principale :

- chez les monocotylédones, elles sont dans le même axe,
- chez les dicotylédones, elles sont obliques.

Parmi les monocotylédones, les familles les plus importantes sont les *Poaceae* (ou graminées), les *Cyperaceae* et les *Commelinaceae*.

Les dicotylédones comptent un nombre de familles beaucoup plus important : les principales sont les *Amaranthaceae*, les *Asteraceae* (ou composées), les *Caesalpinaceae*, les *Convolvulaceae*, les *Euphorbiaceae*, les *Fabaceae*, les *Malvaceae*, les *Rubiaceae*, les *Solanaceae*, etc...

C'est en riziculture irriguée que l'on rencontre fréquemment des espèces appartenant aux groupes des fougères et des algues.

La détermination des mauvaises herbes peut être effectuée grâce à

- des flores classiques basées sur des clés dichotomiques, parfois difficiles d'emploi,
- des plaquettes illustrées, souvent très incomplètes,
- des outils de description et d'aide à l'identification, développés sur cédéroms, comme Adventrop, flore des adventices de la zone soudano-sahélienne.

Il faut faire attention cependant à l'emploi des noms de plante en langues locales :

- des plantes différentes sont souvent appelées du même nom correspondant à un même usage ou à un même comportement,
- des noms différents sont donnés à une même espèce,
- beaucoup d'espèces n'ont pas de noms parce qu'elles n'ont pas d'intérêt pour les habitants de la région

Par ailleurs, un herbier constitue toujours un outil très précieux pour un praticien de l'agriculture. Il facilite beaucoup la reconnaissance des nombreuses espèces qui composent la flore des mauvaises herbes et il permet aussi de transmettre l'identification, en complétant les informations contenues dans les ouvrages.

La constitution de l'enherbement

Au cours du premier cycle de culture après une défriche, l'enherbement n'apparaît pas comme une contrainte importante ; il n'est composé que d'espèces issues de la brousse d'origine, peu agressives pour les cultures et mal adaptées au milieu cultivé. C'est seulement par la suite que les populations de mauvaises herbes se développent et que la réduction de leurs infestations pose des problèmes majeurs.

C'est pourquoi il est impératif de mettre en œuvre les techniques de lutte dès la mise en culture de la parcelle et d'empêcher la constitution d'un stock semencier, qu'il sera très difficile, voire impossible de faire régresser ; ce stock se constitue à partir d'apports exogènes comme

- les facteurs naturels tels que le vent ou l'eau de ruissellement,
- les animaux, les oiseaux ou l'homme qui transportent les graines sur le corps ou qui les déposent par déjection,
- les pratiques culturales, avec les outils agricoles, les animaux de traits, le pâturage des parcelles, l'eau d'irrigation
- les semences polluées par des graines de mauvaises herbes.

Le stock semencier s'accroît ensuite à partir de développements endogènes par simple multiplication des adventices. Les mauvaises herbes produisent un nombre important de graines (*Bidens pilosa* : 3.000, *Ageratum conyzoides* : 40.000, *Eleusine indica* : 50.000, *Amaranthus spinosus* : 200.000), ce qui permet l'infestation très rapide des parcelles.

L'enherbement et les cultures

En conditions pluviales, on ne peut pas caractériser un cortège floristique en fonction d'une culture. Seules les espèces parasites spécifiques sont inféodées à une culture, comme, par exemple, les espèces du genre *Striga* : *Striga hermonthica*, *Striga aspera* ou *Striga lutea* sur céréales (sorgho, mil, maïs, riz pluvial, fonio ou canne à sucre) ou *Striga gesnerioides* sur légumineuses (niébé).

Ce n'est que dans le cas du riz irrigué qu'il est possible de donner une liste d'espèces typiques d'une culture en zone tropicale. L'inondation permanente de la rizière irriguée crée des conditions suffisamment contraignantes pour sélectionner un petit nombre d'espèces adaptées au milieu aquatique.

En climat tropical, au sein d'une même unité géographique, les conditions écologiques (humidité du sol, température) sont semblables lors de la mise en place des cultures pluviales, telles que le cotonnier, le maïs, le sorgho, le riz pluvial, l'arachide, l'igname, le manioc, etc... Aucun facteur ne permet l'individualisation de flores particulières à chacune des cultures. La localisation géographique, qui conditionne la température et le rythme des pluies, le type de sol ou le niveau d'intensification seront des facteurs plus discriminants que la culture.

Cette notion de mauvaises herbes inféodées à une culture est bien établie en climat tempéré, où la dynamique de la flore est soumise à des contraintes que l'on ne retrouve pas en zone tropicale, le facteur prépondérant étant la variation de température. En climat tempéré, la mise en place des diverses cultures s'étale tout au long de l'année à des époques où les températures sont suffisamment contrastées pour discriminer le développement des espèces végétales. Ainsi les espèces pouvant lever lors du semis d'un

blé d'hiver en automne ne sont pas les mêmes que celles qui germent en conditions estivales dans une culture de maïs ; on peut donc définir une flore des mauvaises herbes du blé d'hiver par opposition à celle du maïs.

CONFECTION D'UN HERBIER

Récolte des plantes sur le terrain.

Chaque plante doit être convenablement récoltée, c'est-à-dire qu'elle doit en principe être prélevée dans son entier (appareils aérien et souterrain) et présenter le maximum d'éléments pouvant permettre sa détermination (tiges, feuilles, fleurs, fruits, racines, organes de réserves).

Pour les espèces, dont le développement est trop important pour permettre de récolter un individu entier (par exemple les ligneux ou les grandes graminées), un rameau d'une trentaine de centimètres sera sectionné (au besoin, plusieurs parties séparément).

Recueil des données.

Afin de faciliter la détermination et pour situer l'échantillon, il conviendra de noter, en plus du numéro d'ordre, des informations complémentaires, qui n'apparaissent pas sur l'échantillon.

Description de la plante.

- ⇒ taille de la plante,
- ⇒ port (dressé, étalé, rampant, grimpant, etc...),
- ⇒ couleur des fleurs, fruits, feuilles, tiges,
- ⇒ type de fruit (akènes, baies, drupes, etc...).

Description du milieu.

- ⇒ date de la récolte,
- ⇒ localisation du site (topographie, sol, climat, etc...),
- ⇒ type de milieu (culture, jachère, irrigué, inondé, etc...).

Conservation des échantillons.

Mise sous presse.

Les échantillons seront disposés, bien étalés (notamment pour les feuilles), entre deux feuilles de papier journal. Lorsque la plante possède des organes trop volumineux (fruits, tubercules, racines, etc...), il sera nécessaire de les couper dans le sens longitudinal. Si la plante est trop grande pour être présentée entièrement dans une planche d'herbier, il faudra la diviser en plusieurs parties montrant les éléments les plus représentatifs.

L'ensemble des feuilles de journal ainsi préparées sera maintenu fortement serré avec une presse. Les feuilles de papier journal devront être changées tous les jours jusqu'à dessèchement complet de l'échantillon.

Présentation des échantillons.

Après le séchage, les échantillons seront disposés sur une feuille de papier (cartonné de préférence), maintenus par des points de colle ou des rubans adhésifs.

La fiche de renseignement y sera jointe avec un nom d'identification et, si possible, le nom botanique, le nom commun, la description de la plante et du milieu.

DEFINITIONS DES TERMES ASSOCIES AUX TRAITEMENTS HERBICIDES

Sources :

- ✓ A.C.T.A., 2000. *Index phytosanitaire*. 36^e édition. Association de coordination technique agricole. Paris. 644 p.
- ✓ Deuse J. & Lavabre E.M., 1979. *Le désherbage des cultures sous les tropiques*. Maisonneuve et Larose. France. 310 p.

association : préparation qui contient plusieurs matières actives.

dose : quantité de matière active ou de préparation appliquée par unité de surface traitée (pour éviter toute ambiguïté, on exprime en grammes, les doses de matières actives, et kilogrammes ou en litres, les doses de spécialités).

formulant : toute substance ajoutée à la (ou les) matière(s) active(s) pour obtenir le produit formulé.

formulation :

1. combinaison de divers composés visant à rendre le produit utilisable efficacement pour le but recherché.
2. forme physique sous laquelle le produit phytopharmaceutique est mis sur le marché (WP : poudre mouillable ; SL : concentré soluble ; EC : concentré émulsionnable ; SC : suspension concentrée ; etc...).

graminicide : substance ou préparation herbicide ayant une action spécifique sur les graminées et sélectif des dicotylédones.

herbicide sélectif : herbicide qui, utilisé dans des conditions normales d'emploi, respecte certaines cultures et permet de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures.

herbicide total : herbicide qui, utilisé aux doses conseillées pour cet usage, est susceptible de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistances d'action variables.

herbicide de contact : herbicide qui agit après pénétration plus ou moins profonde dans les tissus, sans aucune migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

herbicide systémique : substance ou préparation herbicide capable d'agir après pénétration et migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

mélange de produits ou **mélange extemporané** : mélange effectué au moment de l'emploi par l'utilisateur.

phytotoxicité : propriété d'une substance ou d'une préparation qui provoque chez une plante des altérations passagères ou durables.

matière active : constituant d'une préparation auquel est attribué en tout ou en partie son efficacité.

préparation ou produit formulé : mélange prêt à l'emploi d'une matière active et de formulants (cf. association).

programme de traitements : ensemble des applications d'herbicides effectuées sur une parcelle au cours du cycle cultural.

rémanence ou persistance d'action : durée pendant laquelle un produit herbicide manifeste son activité.

spécialité : produit formulé de composition définie, autorisé à la vente sous un nom de marque.

spectre d'efficacité : ensemble des espèces maîtrisées par un produit à une dose donnée.

teneur : quantité de matière active contenue dans une unité de masse ou de volume d'une préparation ; elle s'exprime en pourcentage pondéral pour les formulations solides, et en g/l pour les formulations liquides.

traitement herbicide en plein : traitement effectué sur toute la surface de la parcelle.

traitement herbicide localisé : traitement effectué sur une partie du sol, de la culture ou des mauvaises herbes.

traitement herbicide dirigé : traitement effectué avec un herbicide non sélectif en protégeant la plante cultivée lors de l'application.

traitement herbicide de pré-semis : l'herbicide est appliqué après la préparation du sol et avant le semis de la culture ; cela permet notamment l'incorporation des produits volatils ou photodégradables.

traitement herbicide de post-semis : traitement effectué aussitôt après le semis de la culture.

traitement herbicide de pré-levée : traitement effectué avant la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe).

traitement herbicide de post-levée : traitement effectué après la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe).

traitement herbicide de post-levée précoce : traitement effectué avant la levée de la culture, mais après celle des mauvaises herbes, associant un herbicide de pré-levée et un herbicide de post-levée.

DEMARCHE EXPERIMENTALE

pour la mise au point d'un traitement herbicide

Le choix des produits à mettre en expérimentation est effectué d'après les propositions des firmes phytosanitaires, mais aussi en fonction des informations recueillies sur le terrain, afin de déterminer les contraintes majeures d'enherbement.

La démarche expérimentale (cf. schéma infra) pour la mise au point des traitements herbicides repose sur deux types d'essais successifs :

- **essais d'efficacité**, pour déterminer l'activité des produits sur les mauvaises herbes, ainsi que la dose et l'époque d'application optimales,
- **essais de sélectivité**, pour estimer les risques de phytotoxicité du traitement sur la culture ; les essais d'arrière-effet complètent ceux de sélectivité en estimant les risques de phytotoxicité du traitement herbicide pour la culture suivante.
- Ensuite, les essais de valeur pratique et les tests en milieu réel permettent de confirmer l'intérêt d'herbicides retenus au cours des phases précédentes.

Pour tous ces essais, la culture est conduite selon les normes habituelles de préparation du sol, de fumure, de choix de variétés, de plantation et des traitements phytosanitaires, autres que ceux destinés à la lutte contre les mauvaises herbes.

L'essai d'efficacité.

Cet essai a pour but d'étudier le comportement des mauvaises herbes, après un traitement avec un produit chimique. Ce test des différents produits, proposés par les firmes phytosanitaires, vise, en fonction des conditions agro-écologiques du milieu, à :

- comparer leur efficacité à maîtriser l'enherbement,
- déterminer leur spectre d'efficacité et les espèces résistantes,
- établir la durée de leur rémanence,
- évaluer les symptômes visibles de phytotoxicité.

L'implantation se fait sur une parcelle ayant un fort potentiel d'enherbement (pluri- ou monospécifique), avec une répartition homogène de la flore des mauvaises herbes. La méthode du témoin adjacent est utilisée, afin que chaque parcelle traitée soit bordée d'une parcelle témoin non traitée. Pour chaque implantation, trois répétitions sont suffisantes et il y a avantage à multiplier cet essai sur des emplacements différents, afin d'obtenir une diversité floristique importante et de faire varier les conditions pédo-climatiques.

Aucun sarclage n'est pratiqué sur cet essai d'efficacité, hormis pour l'entretien des allées et des bordures. Il se poursuit jusqu'à ce que toutes les parcelles traitées soient entièrement envahies par les mauvaises herbes et il n'est pas récolté.

Les observations consistent en

- des notations visuelles régulières, pour évaluer l'efficacité des traitements par rapport au témoin adjacent sur l'enherbement global et sur la flore dominante de l'essai ;

- des notations des signes visibles de phytotoxicité.

L'essai de sélectivité.

Cet essai de sélectivité vise à évaluer les risques de phytotoxicité des produits herbicides pour la culture. Les produits testés sont ceux qui se sont révélés efficaces lors des précédents essais d'efficacité.

Un dispositif en blocs de Fisher à six répétitions est utilisé. En principe, pour chacun des produits testés, trois doses (simple, double et triple) sont testées : **D**, **2xD** et **3xD**. **D** est la dose déterminée comme efficace d'après la série des essais d'efficacité précédents. Un témoin sert de traitement de référence pour établir les comparaisons.

Cet essai de sélectivité est conduit jusqu'à la récolte. Toutes les parcelles doivent être parfaitement désherbées, afin qu'il n'y ait aucun effet de nuisibilité des mauvaises herbes sur la culture, notamment sur le témoin non traité.

Les observations suivantes sont effectuées

- à la levée de la culture : comptage du nombre de pieds levés et de pieds présentant des signes de phytotoxicité.
- en cours de culture : estimation des facteurs de croissance et notation visuelle de phytotoxicité des traitements par rapport au témoin de référence.
- à la récolte : mesure de la production et des composantes du rendement.

L'essai d'arrière-effet.

Cet essai d'arrière-effet vise à évaluer les risques de phytotoxicité des produits herbicides pour la culture suivante.

L'implantation se fait, au cycle suivant, sur les dispositifs mis en place pour les essais de sélectivité. Le dispositif en blocs de Fisher à six répétitions des essais de sélectivité est repris strictement. Les parcelles correspondent aux traitements de l'essai de sélectivité précédent. Pour cette culture, il n'y a pas d'application différenciée d'herbicide. L'ensemble de l'essai est réalisé de façon homogène ; notamment, pour toutes les parcelles, les techniques de maîtrise des mauvaises herbes doivent être les mêmes.

Cet essai d'arrière-effet est conduit jusqu'à la récolte. Toutes les parcelles doivent être parfaitement désherbées, afin qu'il n'y ait aucun effet de nuisibilité des mauvaises herbes sur la culture, notamment sur le témoin non traité.

Les observations ont les mêmes que pour l'essai de sélectivité.

L'essai de valeur pratique ou d'itinéraire technique.

Cet essai, qui ne vient qu'à la suite des tests d'efficacité et de sélectivité, permet d'apprécier la valeur globale d'un produit herbicide dans les conditions pratiques d'utilisation, en mettant l'accent sur l'aspect économique.

Un dispositif en bloc de Fisher peut être utilisé. Un nombre limité de traitement est retenu : comparaison d'un ou deux modes d'entretien par rapport à la technique normalement pratiquée. Cet essai est conduit jusqu'à la récolte. Chacun des traitements peut subir des interventions différentes, adaptées aux besoins particuliers des divers traitements.

Les observations porte sur le développement des mauvaises herbes, sur les diverses interventions, notamment les sarclages complémentaires et sur la production à la récolte.

Le test en milieu réel.

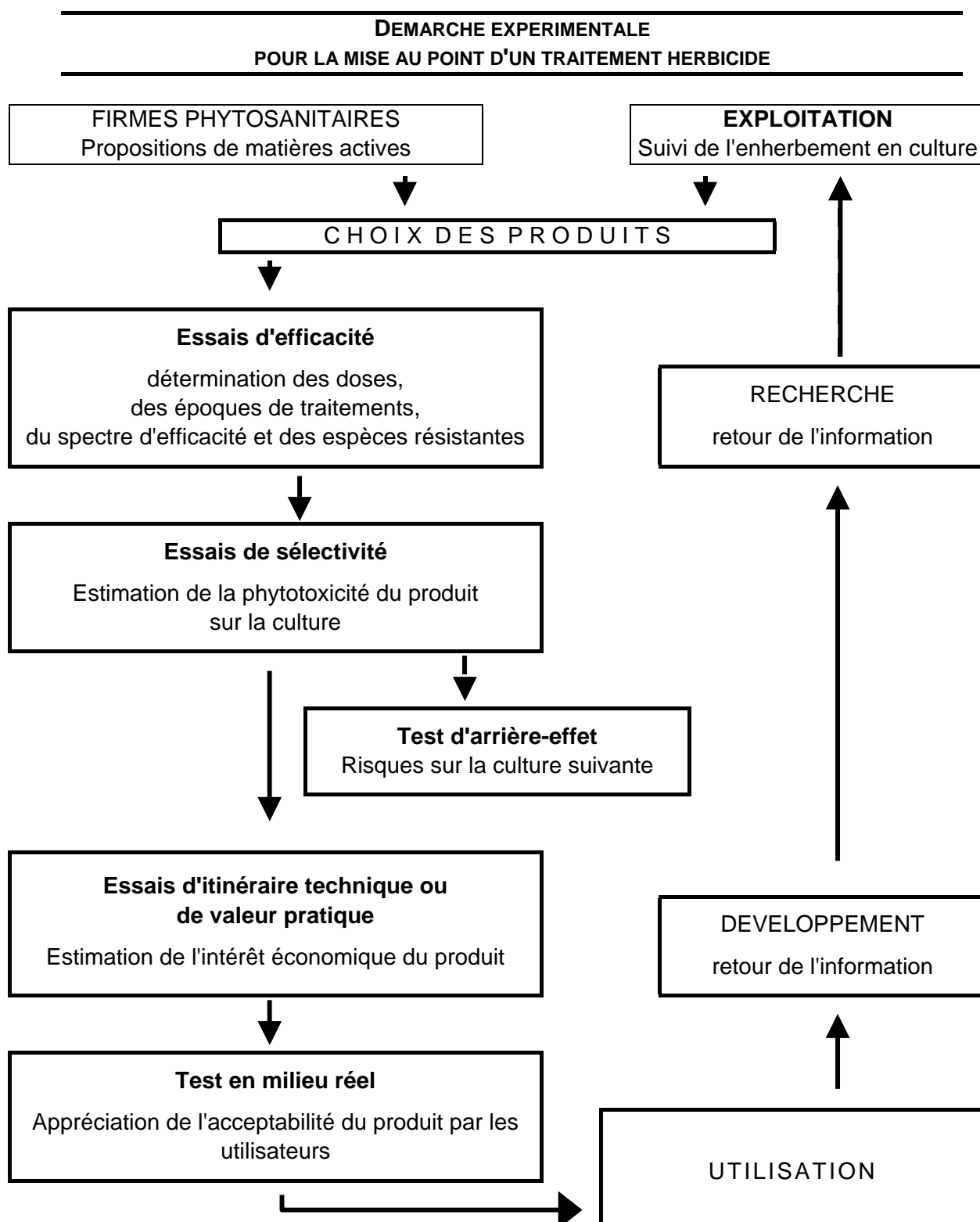
Le test de traitements herbicides en milieu réel constitue une phase indispensable avant l'utilisation d'un produit ; il permet de juger, en vraie grandeur, des avantages et des contraintes d'une nouvelle formulation.

Afin de disposer d'éléments de comparaison, il est intéressant d'intercaler :

- des bandes témoins non traitées pour vérifier le potentiel d'enherbement de la parcelle (importance et principales espèces de mauvaises herbes),
- des bandes traitées avec un produit de référence, pour estimer la différence de comportement entre les deux techniques.

Ce test en milieu réel est implanté avec l'appareillage normalement utilisé par l'agriculteur.

Un suivi régulier de l'enherbement et de la culture est effectué.



L'ETALONNAGE DES APPAREILS DE PULVERISATION

OBJECTIF	2
PRINCIPE	2
MATERIEL	2
ETALONNAGE POUR UN PULVERISATEUR A DOS A PRESSION ENTRETENU	3
♦ Etalonnage statique	3
✓ vitesse d'avancement de l'opérateur	3
✓ distance parcourue par minute	3
✓ largeur de pulvérisation	3
✓ surface traitée.....	3
✓ Mesure du débit.....	4
✓ quantité de bouillie pulvérisée	4
✓ concentration de la bouillie	5
✓ quantité de produit commercial	5
✓ doses exprimées en matière active	5
♦ Etalonnage dynamique	6
ETALONNAGE POUR UN PULVERISATEUR PORTE SUR TRACTEUR	7
♦ Caractéristique du tracteur.....	7
♦ Débit de l'appareil	7
✓ débit d'une buse	7
✓ débit de l'appareil	8
♦ Surface traitée par unité de temps	8
✓ largeur de la pulvérisation	8
✓ distance parcourue par le tracteur.....	8
✓ surface traitée.....	8
♦ Quantité de bouillie pulvérisée par hectare.....	9
♦ Quantité de produit commercial par cuve	9
✓ concentration de la bouillie	9
✓ quantité de produit commercial par appareil	10
✓ doses exprimées en matière active	10
CONCLUSIONS SUR LA PULVERISATION	11

OBJECTIF

Il s'agit de réaliser l'épandage d'une dose prévue d'herbicide sur une parcelle de surface connue.

PRINCIPE

L'objectif est d'épandre le plus régulièrement possible le produit sur la parcelle traitée en s'assurant de l'**homogénéité** de la répartition du produit. L'épandage est effectué par pulvérisation d'une bouillie à base d'eau contenant le produit à l'aide d'un pulvérisateur.

MATERIEL

L'appareil (constitué d'une cuve, d'une pompe, de tuyauterie et de buses) est porté

- soit par un tracteur et animé par la prise de force,
- soit à dos d'homme et actionné manuellement.

La pulvérisation est obtenue par passage de la bouillie sous pression à travers l'orifice d'une buse. Pour épandre des herbicides, on choisira des buses à fente ou des buses miroir, qui permettent d'obtenir un jet plat en éventail, alors que les buses à turbulences seront réservées aux applications d'insecticides ou de fongicides. Pour la pulvérisation d'herbicides, la pression est habituellement d'environ 2 bars : plus la pression sera élevée, plus la taille des gouttelettes sera petite ; les gouttelettes ont généralement un diamètre compris entre $200\ \mu\text{m}$ ¹ et $500\ \mu\text{m}$; Il faut éviter les gouttelettes de moins de $100\ \mu\text{m}$, très sensibles à la dérive, à cause des courants d'air en cas de vent, et à l'évaporation, si la température de l'air est élevée.

Dans le cas des appareils à bas-volume à disque rotatif, le produit passe de la cuve au disque par gravité dans un tuyau et le mouvement de rotation du disque, qui produit la pulvérisation, est obtenu soit par un moteur électrique (type Handy), soit par un système pneumatique entretenu par l'opérateur (type Birky). La qualité de la pulvérisation dépend de la vitesse² de rotation du disque.

¹ $1\ \mu\text{m} = 0,001\ \text{mm} = 10^{-6}\ \text{m}$ - $100\ \mu\text{m} = 0,1\ \text{mm} = 10^{-4}\ \text{m}$

² Pour les appareils équipés d'un moteur électrique, il est important de veiller à l'état des piles d'alimentation.

ÉTALONNAGE POUR UN PULVERISATEUR A DOS A PRESSION ENTRETEENUE

La qualité de la pulvérisation ³ repose sur la régularité du pas d'avancement de l'opérateur, sur la régularité de manipulation de la pompe (on peut régler le mouvement de pompage sur le pas de l'opérateur) et sur l'absence de "badigeonnage" avec la lance.

◆ Etalonnage statique

On opérera comme suit ⁴ :

✓ vitesse d'avancement de l'opérateur

Détermination de la vitesse d'avancement de l'opérateur, V (en km/h) en mesurant le temps mis pour parcourir une distance donnée. Il faudra veiller à obtenir une vitesse d'avancement régulière dans les conditions réelles de traitement.

✓ distance parcourue par minute

La distance parcourue par minute, L_p (en m) est calculé en connaissant la vitesse d'avancement, V :

$$L_p = (V \times 1000) / 60$$

✓ largeur de pulvérisation

La largeur de pulvérisation, l_p (en m), dépend de la hauteur de la buse lors de l'application.

Si l'appareil est équipé d'une rampe de pulvérisation, la largeur de la pulvérisation, l_p , est obtenue en multipliant l'écartement, e , entre chaque buse par le nombre de buses, N_b , portées par la rampe :

$$l_p = e \times N_b$$

✓ surface traitée

La surface traitée, S (en m²) en une minute est

$$S = l_p \times L_p = l_p \times [(V \times 1000) / 60]$$

³ Les pulvérisations effectuées avec une cuve montée sur tracteur et équipée d'un long tuyau et d'une buse, qui permettent à un opérateur de se déplacer dans la parcelle sans avoir à entretenir la pression, doivent être étalonnées comme avec un appareil à dos.

⁴ La procédure est similaire à celle suivie dans le cas d'un pulvérisateur porté sur tracteur.

✓ Mesure du débit

Mesure du débit de la buse, **Db** (en l/mn). On mesure le volume recueilli pendant un temps donné : le débit d'une buse sera

$$Db = [\text{volume recueilli (en l)} / \text{temps de la mesure (en s)}] \times 60 \text{ (en l / mn)}$$

Par exemple, si l'on obtient un litre en 57 s de pulvérisation, le débit sera de

$$Db = [(1 \text{ l} / 57 \text{ s}) \times 60] = 1,05 \text{ l/mn}$$

Si l'appareil est équipé d'une rampe de pulvérisation, le débit moyen des buses, **Dm**, sera égal à la somme du débit de chaque buse divisé par le nombre de buse, **Nb**. On vérifiera l'homogénéité⁵ des débits.

Le débit moyen, **Dm**, sera : **Dm = [somme (Db)] / Nb**

Le débit de l'appareil, **D**, sera : **D = Dm x Nb**

Avec un débit moyen, **Dm**, de 1,05 l/mn, une rampe de 4 buses débitera

$$D = 1,05 \text{ l/mn} \times 4 = 4,2 \text{ l/mn}$$

✓ quantité de bouillie pulvérisée

La quantité de bouillie pulvérisée par hectare, **B** (en l/ha), (parfois dénommé débit/ha) est obtenue connaissant le débit de l'appareil en une minute, **D** (en l/mn), et la surface traitée pendant le même temps, **S** (en m²) :

$$\boxed{B = (D \times 10\,000) / S}$$

ou bien

(en développant la formule)

$$B = \frac{(D \times 10000)}{S} = \frac{[D \times 10\,000]}{[lp \times Lp]} = \frac{[D \times 10\,000]}{lp \times [(V \times 1000) / 60]}$$

$$\boxed{B = \frac{D \times 600}{lp \times V}}$$

Par exemple, si la vitesse d'avancement est $V = 3,6 \text{ km/h}$, la distance parcourue en une minute est $3,6 \text{ km/h} \times (1000 / 60) = 60 \text{ m}$.

Si la largeur de pulvérisation est $lp = 0,80 \text{ m}$, la surface traitée en une minute sera

$$S = 60 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} = 48 \text{ m}^2$$

Si la mesure du débit donne $D = 1,04 \text{ l/mn}$, la quantité de bouillie par hectare sera

$$B = (1,04 \text{ l/mn} / 48 \text{ m}^2) \times 10000 = 216,66 \text{ l/ha, soit approximativement } 217 \text{ l/ha}$$

ou bien

$$B = [D \times 600] / [lp \times V] = [1,04 \text{ l/mn} \times 600] / [0,80 \text{ m} \times 3,6 \text{ km/h}] = 216,66 \text{ l/ha}$$

⁵ Toute buse, dont le débit diffère de 5% (en plus ou en moins) du débit moyen, doit être impérativement remplacée.

Si l'appareil est équipé d'une rampe de pulvérisation, la formule $B = (D \times 10\ 000) / S$ devient avec $D = D_m \times N_b$, $S = l_p \times L_p$, $l_p = e \times N_b$, $L_p = (V \times 1000) / 60$

$$B = \frac{(D \times 10000)}{S} = \frac{[D \times 10\ 000]}{[l_p \times L_p]} = \frac{[(D_m \times N_b) \times 10\ 000]}{e \times N_b \times [(V \times 1000) / 60]}$$

$B = \frac{D_m \times 600}{e \times V}$

✓ concentration de la bouillie

On utilisera la concentration de la bouillie, **[C]**, rapport de la dose de produit commercial par hectare, **d** (en l ou kg/ha), sur le volume de bouillie épandu sur la même surface, **B** (en l/ha) :

$$[C] = d / B$$

✓ quantité de produit commercial

Quel que soit le volume de bouillie préparé, **Q** (en l), la quantité de produit commercial, **q** (en kg ou en l) sera déterminée en multipliant la concentration par ce volume :

$$q = [C] \times Q = [d / B] \times Q$$

Par exemple, si l'appareil, qui permet de pulvériser 217 l/ha de bouillie, a un réservoir de 18 l, il faudra préparer une quantité d'un produit commercial, qui est dosé à 2 l/ha,

$$q = [C] \times Q = [d / B] \times Q = [2 \text{ l/ha} / 217 \text{ l/ha}] \times 18 \text{ l} = 0,165 \text{ l}$$

La surface traitée avec cet appareil sera : $(18 \text{ l} / 217 \text{ l/ha}) \times 10000 = 829 \text{ m}^2$

✓ doses exprimées en matière active

Cas des doses exprimées en matière active : parfois les doses d'herbicides sont exprimées en matière active, **d(m.a.)** (en g/ha) et non en produit commercial. Il est alors nécessaire de connaître la teneur de la matière active, **t** (en g/l ou en g/kg), pour calculer la dose en produit commercial, **d** (en l/ha ou kg/ha) et revenir au problème précédent.

$$d = d(m.a.) / t$$

Si la dose d'amétryne, **d(m.a.)**, à épandre est de 1500 g/ha, un produit commercial contenant de l'amétryne, en formulation solide à la teneur, **t**, de 50 % (soit 500 g/kg) sera épandu à la dose, **d** de

$$d = 1500 \text{ g/ha} / 500 \text{ g/kg} = 3,0 \text{ kg/ha.}$$

◆ Etalonnage dynamique

Dans ce cas, il n'est pas utile de mesurer la vitesse d'avancement, ni le débit de l'appareil de pulvérisation. Les appareils à bas-volume à disque rotatif s'étalonnent suivant cette procédure.

1. Au préalable, il faudra vérifier la régularité de l'avancement de l'opérateur *dans les conditions réelles de traitement* et sans "badigeonnage".
2. On repère une surface à traiter. Par exemple, une bande de 100 m de longueur, **L_p**, pour une largeur de pulvérisation, **l_p**, de 0,80 m. La surface, **S**, sera
$$S = l_p \times L_p = 0,80 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 80 \text{ m}^2$$
3. On met dans le réservoir de l'appareil de pulvérisation une quantité connue d'eau, **E** (en l), par exemple, E = 2 litres. On effectue la pulvérisation sur la surface déterminée, **S**.
4. On mesure la quantité restant dans le réservoir après la pulvérisation, **r**. La quantité de bouillie utilisée, **Q**, est égale à **E - r**.
Par exemple, si r = 440 ml = 0,44 l, Q = 2 l - 0,44 l = 1,56 l
5. La quantité de bouillie pulvérisée par hectare, **B** (en l/ha), (parfois dénommé débit/ha) est obtenue connaissant la quantité de bouillie utilisée, **Q**, (en l), et la surface traitée, **S** (en m²) :

$$\boxed{B = (Q \times 10\ 000) / S}$$

ou bien
(en développant la formule)

$$\boxed{B = \frac{(Q \times 10000)}{S} = \frac{[(E - r) \times 10000]}{[l_p \times L_p]}}$$

Par exemple, si la largeur de pulvérisation, **l_p**, est de 0,80 m, pour une longueur de d'application de **L_p** de 100 m, avec une quantité de bouillie préparée, **E**, de 2 l et un reste, **r**, de 440 ml, la quantité de bouillie pulvérisée par hectare sera

$$B = [(2 \text{ l} - 0,44 \text{ l}) \times 10000 \text{ m}^2] / (0,80 \text{ m} \times 100 \text{ m})$$
$$B = [1,56 \text{ l} \times 10000 \text{ m}^2] / 80 \text{ m}^2 = 195 \text{ l/ha}$$

ÉTALONNAGE POUR UN PULVERISATEUR PORTE SUR TRACTEUR

◆ Caractéristique du tracteur

Deux éléments, propres au tracteur, seront fixés indépendamment du pulvérisateur :

- la vitesse de la prise de force (PTO) : les matériels de pulvérisation sont conçus pour fonctionner avec une vitesse de 540 tours / mn. Cette vitesse de rotation **impose** le régime de rotation du moteur et **ne doit pas varier** (accélérateur à main du tracteur)
- la vitesse d'avancement du tracteur, qui dépendra des types de terrain : plus la parcelle sera accidentée, plus la vitesse sera lente. Cette vitesse est obtenue par **le choix d'un rapport adapté** de boîte de vitesse. Elle sera choisie dans le tableaux des caractéristiques données par le constructeur ou bien déterminée par un simple calcul, en mesurant le temps mis pour parcourir une distance donnée.

Par exemple, pour un rapport de boîte donné, si le tracteur parcourt une distance de 50 m en 1 minute et 12 secondes, la vitesse V sera :

$$V = 50 \text{ m} / 1'12'' = 50 \text{ m} / 72 \text{ s} = 0,694 \text{ m/s},$$

$$\text{soit } 0,694 \text{ m/s} \times (3600 / 1000) = 2,499 \text{ km/h, approximativement } 2,5 \text{ km/h}$$

ou bien, pour un autre rapport de boîte :

$$50 \text{ m en } 57,07 \text{ s} \rightarrow V = [(50 \text{ m} / 57,07 \text{ s})] \times (3600 / 1000) = 3,016 \text{ km/h}$$

Lorsque la vitesse de rotation du moteur et la vitesse d'avancement seront choisies, elles doivent être considérées comme des **constantes** et **ne devront pas être modifiées**. Les calculs qui viennent seront basés sur ces valeurs.

◆ Débit de l'appareil

✓ débit d'une buse

Après avoir vérifié l'état d'entretien de l'appareil de pulvérisation (fuites éventuelles, coudes dans la tuyauterie, etc...), on s'assurera que toutes les buses ont un débit équivalent. Le débit des buses est déterminé en plaçant un récipient sous chacune d'elles, le tracteur étant stationné sur un terrain à plat avec la rampe à l'horizontale et la prise de force tournant à 540 tr / mn. On mesure le volume recueilli pendant un temps donné : le débit d'une buse, **Db**, sera

$$\mathbf{Db} = [\text{volume recueilli (en l)} / \text{temps de la mesure (en s)}] \times 60 \text{ (en l / mn)}$$

Par exemple, si l'on obtient un litre en 52 s de pulvérisation, le débit sera de

$$Db = [(1 \text{ l} / 52 \text{ s}) \times 60] = 1,154 \text{ l/mn}$$

Le débit moyen, **Dm**, des buses sera égal à la somme du débit de chaque buse divisé par le nombre de buse, **Nb** :

$$\mathbf{Dm = [\text{somme (Db)}] / Nb}$$

Toute buse, dont le débit diffère de 5% (en plus ou en moins) du débit moyen, doit être impérativement remplacée.

✓ débit de l'appareil

Le débit de l'appareil, D , sera : $D = D_m \times N_b$

Avec un débit moyen, D_m , de 1,15 l/mn, une rampe de 24 buses débitera
 $D = 1,15 \text{ l/mn} \times 24 = 27,6 \text{ l/mn}$

◆ **Surface traitée par unité de temps**

✓ largeur de la pulvérisation

La largeur de la pulvérisation, l_p , est obtenue en multipliant l'écartement, e , entre chaque buse par le nombre de buses, N_b , portées par la rampe :

$$l_p = e \times N_b$$

Par exemple, une rampe équipée de 24 buses écartées entre elles de 50 cm aura une largeur de pulvérisation, l_p , de

$$l_p = 0,5 \text{ m} \times 24 = 12 \text{ m}$$

✓ distance parcourue par le tracteur

Connaissant la vitesse d'avancement du tracteur (avec un régime moteur donnant 540 tours à la prise de force), V (en km/h), la distance, L_p , (en m) parcourue pendant une minute sera égale à :

$$L_p = (V \times 1000) / 60$$

Par exemple, si $V = 2,5 \text{ km/h}$, cette distance sera

$$L_p = (2,5 \text{ km/h} \times 1000) / 60 \text{ s} = 41,66 \text{ m}$$

✓ surface traitée

La surface traitée en une minute, S (en m^2), sera égale à la largeur de pulvérisation (en m) multipliée par la distance parcourue (en m) en une minute :

$$S = l_p \times L_p$$

Par exemple, si la largeur, l_p , est 12 m et la distance, L_p , 41,66 m, la surface, S , sera

$$S = l_p \times L_p = 12 \text{ m} \times 41,66 \text{ m} = 499,99 \text{ m}^2, \\ \text{soit approximativement } 500 \text{ m}^2 \text{ par minute.}$$

ou bien

(en développant la formule)

$$- S = lp \times Lp = [e \times Nb] \times [(V \times 1000) / 60] -$$

Si $e = 0,50$ m, $Nb = 24$, $V = 2,5$ km/h

$$S = [0,5 \text{ m} \times 24] \times [(2,5 \text{ km/h} \times 1000) / 60] = 499,99 \text{ m}^2$$

◆ Quantité de bouillie pulvérisée par hectare

La quantité de bouillie pulvérisée par hectare, **B** (en l/ha), (parfois dénommé débit/ha) est obtenue connaissant le débit de l'appareil en une minute, **D** (en l/mn), et la surface traitée pendant le même temps, **S** (en m²) :

$$- B = (D \times 10\,000) / S -$$

Par exemple, si le débit, **D**, est de 27,6 l/mn et la surface traitée en une minute, **S**, de 500 m², la quantité de bouillie sera de

$$(27,6 \text{ l/mn} \times 10.000) / 500 \text{ m}^2 = 552 \text{ l/ha}$$

ou bien

(en développant la formule)

$$B = \frac{(D \times 10000)}{S} = \frac{[D \times 10\,000]}{[lp \times Lp]} = \frac{[Dm \times Nb] \times 10\,000}{[e \times Nb] \times [(V \times 1000) / 60]}$$

$$B = \frac{Dm \times 600}{e \times V}$$

Si $Dm = 1,15$ l/mn, $e = 0,50$ m et $V = 2,5$ km/h,

$$B = [1,15 \text{ l/mn} \times 600] / [0,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ km/h}] = 552 \text{ l/ha}$$

autre exemple avec un autre rapport de boîte (et donc une autre vitesse d'avancement du tracteur) :

Si $V = 3,02$ km/h avec le même pulvérisateur que ci-dessus, $Dm = 1,15$ l/mn, $e = 0,50$ m : $B = [1,15 \text{ l/mn} \times 600] / [0,5 \text{ m} \times 3,02 \text{ km/h}] = 457 \text{ l/ha}$

◆ Quantité de produit commercial par cuve

✓ concentration de la bouillie

La concentration de la bouillie, [**C**], est le rapport de la dose de produit commercial par hectare, **d** (en l ou kg/ha), sur le volume de bouillie épandu sur la même surface, **B** (en l/ha).

$$- [C] = d / B -$$

✓ quantité de produit commercial par appareil

Quel que soit le volume de bouillie préparé, **Q** (en l), la quantité de produit commercial, **q** (en kg ou en l) sera déterminée en multipliant la concentration par ce volume :

$$- \quad q = [C] \times Q = [d / B] \times Q \quad -$$

Par exemple, si l'on veut remplir la cuve de 600 l d'un pulvérisateur pour épandre du diuron, en formulation liquide à 800 g/l, la dose du produit commercial est de 2,25 l/ha, l'appareil étant étalonné à 552 l/ha

$$q = [C] \times Q = [d / B] \times Q = (2,25 \text{ l/ha} / 552 \text{ l/ha}) \times 600 \text{ l} = 2,45 \text{ l}$$

La surface traitée, **St** (en ha) sera égale au rapport entre la quantité de bouillie préparée, **Q** (en l) et la quantité de bouillie épandue par hectare, **B** (en l/ha)

$$St = Q / B,$$

Par exemple, ici $600 \text{ l} / 552 \text{ l/ha} = 1,09 \text{ ha}$

Si l'on emploie une formulation solide de même teneur, le résultat sera 2,45 kg.

Si l'on n'a besoin de préparer que 400 l de bouillie, la quantité de produit commercial sera

$$q = [C] \times Q = (d / B) \times Q = (2,25 \text{ l} / 552 \text{ l/ha}) \times 400 = 1,63 \text{ l}$$

La surface traitée sera

$$St = Q / B = 400 \text{ l} / 552 \text{ l/ha} = 0,72 \text{ ha}$$

✓ doses exprimées en matière active

Parfois les doses d'herbicides sont exprimées en matière active, **d(m.a.)** (en g/ha) et non en produit commercial. Il est alors nécessaire de connaître la teneur de la matière active, **t** (en g/l ou en g/kg), pour calculer la dose en produit commercial, **d** (en l ou kg/ha) et revenir au problème précédent.

$$. \quad d = d(m.a.) / t \quad .$$

Si la dose de diuron, **d(m.a.)**, à épandre est de 1800 g/ha, un produit commercial contenant du diuron, en formulation liquide à la teneur, **t**, de 800 g/l sera épandu à la dose, **d** de

$$d = 1800 \text{ g/ha} / 800 \text{ g/l} = 2,25 \text{ l/ha.}$$

CONCLUSIONS SUR LA PULVERISATION

Quel que soit le type d'appareil de pulvérisation, l'objectif essentiel doit être l'homogénéité de la pulvérisation sur la surface à traiter. Un étalonnage précis n'a d'intérêt que si l'on respecte les points suivants :

- ✓ le bon état d'entretien du pulvérisateur (fuite, réglage, nettoyage, etc...) ;
- ✓ le bon état des buses de pulvérisation en vérifiant leur usure ou le bouchage pour s'assurer de l'homogénéité des débits ;
- ✓ la régularité de l'avancement du tracteur ou de l'opérateur ;
- ✓ la mesure précise de la quantité de produit herbicide employé pour préparer la bouillie.

Pour les pulvérisations avec un appareil porté ou tracté, il est indispensable de prévoir le balisage de la parcelle pour guider le conducteur et de traiter les tournières en fin d'opération en ayant pris soin de couper la pulvérisation dans ces zones à chaque bande traitée.

DOSE LETALE 50 (DL 50) D'HERBICIDES

DL 50 d'herbicides comparées à celle de pesticides et de produits de consommation courante.

matière active	DL 50 (rat ingestion) mg/kg
herbicides	
autres pesticides	
produits courants	
aldicarbe (insecticide)	1
disulfoton (insecticide)	9
parathion méthyl (insecticide)	14
nicotine	50
bifenthrine (insecticide)	55
deltaméthrine (insecticide)	67
fipronil (insecticide)	97
endosulfan (insecticide)	110
ioxynil	110
roténone (insecticide)	132
paraquat	157
cyperméthrine (insecticide)	251
2,4-D	375
diméthoate (insecticide)	380
triclopyr	713
dicofol (acaricide)	809
dichlorprop-P	962
bentazone	1.100
triadiménoI (fongicide)	1.160
alachlore	1.200
amétryne	1.405
hézazinone	1.690
aspirine	1.750
métazachlore	2.150
métribuzine	2.200
métolachlor	2.780
atrazine	3.080
thiabendazole (fongicide)	3.330
diuron	3.400
sel de cuisine	3.850
trichloroacétate de sodium (TCA)	4.000
acétochlore	4.238
glyphosate	4.900
aclonifen	5.000
asulame	5.000
fluométuron	6.400

LISTE D'HERBICIDES

- **form : formulation**

- **CS** suspension de capsules
- **EC** concentré émulsionnable
- **EW** émulsion aqueuse
- **SC** suspension concentrée = flow = flowable concentrate
- **SE** suspension – émulsion
- **SG** granulés solubles dans l'eau
- **SL** concentré soluble
- **SP** poudre soluble dans l'eau
- **WG** granulés à disperser dans l'eau = granulés autodispersibles
- **WP** poudre mouillable

- **épo : époque d'application**

- **Prs** pré-semis (avec enfouissement)
- **Pré** post-semis / pré-levée
- **Psp**: post-levée précoce
- **Pst** post-levée

anti-gram : anti-graminées **anti-dicot** : anti-dicotylédones

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
2,4-D	Calliherbe	Calliope	720 g/l	SL	Pst	riz irrigué
2,4-D	Chardol	Agrichem	600 g/l	SL	Pst	canne
2,4-D	Dicopur	BASF	860 g/l	SL	Pst	canne
2,4-D	Herbalm	A.L.M.	720 g/l	SL	Pst	anti-dicot
2,4-D	Herbax	AG-Chem	720 g/l	SL	Pst	riz pluvial
2,4-D	Herbazol	Aventis (AgrEvo / Hoechst)	720 g/l	SL	Pst	riz
2,4-D	Herbextra	Sivex	720 g/l	SL	Pst	riz
2,4-D	Herbextra	Sivex	720 g/l	SL	Pst	riz
2,4-D	Herbextra	Sivex	96,9 %	SL	Pst	riz pluvial
2,4-D	Ormoneb	Capsicol	860 g/l	SL	Pst	canne
2,4-D	Weedone LV6	CFPI Agro	720 g/l	EC	Pst	riz
2,4-D + propanil	CAL H98002	Calliope	175 + 260 g/l	EC	Pst	riz pluvial
acétochlore	Harness	Monsanto	400 g/l	CS	Pré	maïs canne

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
acétochlore	Trophée	Dow AgroSci. (ex Zeneca)	400 g/l	CS	Pré	maïs canne
acétochlore + atrazine	Erunit	STEPC	276 + 196 g/l	SC	Pré	maïs
aclonifen + atrazine	Challenge M	Aventis (Rhône-Poulenc)	250 + 250 g/l	SC	Pré	maïs canne
aclonifen +alachlore	Manager	Leadagro	143 + 257 g/l	EW	Pré	maïs
alachlore	Alanex	Agan/Balton SNES	480 g/l	EC	Pré	soja
alachlore	Faeton	Sipcam-Phyteurop	480 g/l	EC	Pré	canne
alachlore	Lasso MT	Monsanto	480 g/l	CS	Pré	maïs canne
alachlore	Tradiachlor	Tradi-agri	480 g/l	EC	Pré	maïs canne
alachlore + atrazine	Alazine	Makhteshim-Agan	334 + 146 g/l	SE	Pré	maïs
alachlore + atrazine	Atralm Super	A.L.M.	250 + 250 g/l	-	Pré	maïs
alachlore + atrazine	Lasso GD	Monsanto	336 + 144 g/l	EC	Pré	maïs
alachlore + prométryne	Promanex	Agan/Balton SNES	240 + 120 g/l	EC	Pré	soja
amétryne	Ametrex	Makhteshim	500 g/l	SC	Pré	canne
amétryne	Callitryne	Calliope	500 g/l	SC	Pré	canne
amétryne	Gésapax 500 SC	Novartis	500 g/l	SC	Pré	maïs canne
amétryne + atrazine	Gésapax Combi	Novartis	250 + 250 g/l	SC	Pré	igname
aminotriazole = amitrole	Weedazole	CFPI	-	-	Pst	total
anilfos	Arozin	Aventis (AgrEvo / Hoechst)	300 g/l	EC	Pst	riz
asulame	Asulox	Aventis	400 g/l	SL	Pst	canne
atrazine	Adiatra	Tradi-agri	500 g/l	SC	Pré	canne
atrazine	Agrazine	Sivex	500 g/l	SC	Pré	maïs
atrazine	Atralm	A.L.M.	500 g/l	SC	Pré	maïs
atrazine	Atranex	Calliope	500 g/l	SC	Pré	maïs
atrazine	Atraphyt	Sipcam-Phyteurop	500 g/l	SC	Pré	maïs canne
atrazine	Callitraz	Calliope	500 g/l	SC	Pré	maïs canne

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
atrazine	Flotrazina	Zeneca	500 g/l	SC	Pré	maïs
atrazine	Gésaprim 90	Novartis	90 %	EW	Pré	maïs canne
atrazine	Gésaprim	Novartis	500 g/l	SC	Pré	maïs
azimsulfuron	Gulliver	Du Pont	50 %	WG	Pst	riz
bensulfuron-methyl	Londax	Du Pont de N.	60 %	WG	Pst	riz irrigué
bentazone	Basagran SG	BASF	87 %	SG	Pst	céréales
bentazone	Zoom	BASF	480 g/l	SL	Pst	riz
bentazone + propanil	Basagran PL2	B.A.S.F.	160 + 340 g/l	EC	Pst	riz
bentazone + dichlorprop-P	Basagran DPP	BASF	333 + 233 g/l	SL	Pst	céréales canne
bromacile	Hyxar X	Du Pont de N.	80 %	WP	Pré	ananas
butraline	Amex 820	CFPI	480 g/l	EC	Pré	riz pluvial
chlorate de sodium	-	-	-	SP	Pré	total
chlortoluron	Koral 500	Calliope	500 g/l	SC	Pré	cotonnier
cinosulfuron	Setoff	Novartis	20 %	WG	Pst	riz
cinosulfuron + pipérophos	Pipset	Novartis	2 + 33 %	WG	Pst	riz irrigué
clomazone + pendiméthaline	Galaxy	FMC	150 + 300 g/l	EC	Pré	riz pluvial
clomazone	Command	FMC	480 g/l	EC	Pré	cotonnier
cyanazine	Bladex	Cyanamid	500 g/l	SC	Pré	maïs
cyanazine + atrazine	Bellater	Cyanamid / Shell	250 + 250 g/l	SC	Pré	maïs
cyclosulfamuron	AC 322,140	Cyanamid	10 %	WP	Psp	riz pluvial
cycloxydime	Stratos ultra	BASF	100 g/l	EC	Pst	anti-gram
cyhalofop-N-butyl	Clincher	Dow AgroSciences	200 g/l	EC	Pst	riz
dalapon	Adiapon	Tradi-agri	85 %	WP	Pst	total canne
dalapon	Dalaphyt	Sipcam	85 %	SP	Pst	total
dicamba + atrazine	Marksman	Novartis	132 + 252 g/l	EC	Pst	maïs
dicamba	Banvel	Novartis	480 g/l	SL	Pst	maïs
diméthamétryne	Dimépax	Novartis	500 g/l	SC		canne

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
dipropétryne + métolachlor	Cotodon 400 FW	Novartis	240 + 160 g/l	SC	Pré	cotonnier
diuron	Decimax	Agriphyt	80 %	WP	Pré	cotonnier
diuron	Diuralm SC	A.L.M.	800 g/l	SC	Pré	cotonnier
diuron	Diuralm WP	A.L.M.	80 %	WP	Pré	cotonnier
diuron	Karmex	Du Pont de N.	80 %	WP	Pré	cotonnier
diuron	Karmex Flo	Du Pont de N.	800 g/l	SC	Pré	canne
diuron	Novex Flo 80	Calliope	800 g/l	SC	Pré	cotonnier
diuron	Séduron	Aventis (Rhône-Poulenc)	80 %	WP	Pré	cotonnier
DSMA	Ansar	I.S.K.	-	-	Pst	cotonnier
fluazifop-P-butyl	Fusilade X2	Zeneca	250 g/l	EC	Pst	anti-gram
fluométuron	Efeta	Efeta	500 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron	Cotoran 500	Novartis	500 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron (+) diéthatyl-éthyl	Diflucal Pack mixte	Calliope	360 (+) 440 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron + diuron	Cotoforce	STEPC	250 + 250 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron + diuron	Fluorone D	Aventis (Rhône-Poulenc)	250 + 250 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron + prométryne	Callifor	Calliope	250 + 250 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron + prométryne	Cotogard 500 FW	Novartis	250 + 250 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron + prométryne	Fluorone P	Aventis (Rhône-Poulenc)	250 + 250 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluométuron + prométryne	Fluoralm	A.L.M.	250 + 250 g/l	SC	Pré	cotonnier
fluroxypyr	Starane	Dow AgroSciences	200 g/l	EC	Pst	anti-dicot
flurtamone	-	Aventis (Rhône-Poulenc)	-	-	Pré	cotonnier
fosamine-ammonium	Krénite	Du Pont de N.	480 g/l	SL	Pst	-
glufosinate-ammonium	Basta	Aventis (AgrEvo / Hoechst)	200 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Armada	STEPC	900 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Cosmic	Calliope	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Glyper	Capsicol	360 g/l	SL	Pst	total

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
glyphosate	Glyphogan	Makhteshim	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Glyphonet	Tradi-agri	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Glyphosalm	A.L.M.	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Glyphosalm	A.L.M.	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Kalach SL	Calliope	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Kalach SL	Calliope	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Missile	Tradi-agri	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Roundup	Monsanto	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Roundup Bioforce	Desangosse	360 g/l	SL	Pst	total
glyphosate	Roundup Bioforce	Monsanto	360 g/l	SL	Pst	total
halosulfuron	Servian	Novartis	-	-	Pst	canne
haloxyfop-éthoxyéthyl	Gallant	Callivoire	125 g/l	EC	Pst	cotonnier soja
haloxyfop-r	Super Gallant	Dow AgroSciences	104 g/l	EC	Pst	anti-gram
hézazinone	Velpar S	Du Pont de N.	90 %	SP	Pré	canne
imazapyr	Arsenal	Cyanamid Agro	250 g/l	EC	Pst	total
imazaquine	Scepter	Cyanamid	180 g/l	EC	Pré	soja
imazethapyr	Overtop	Cyanamid	35 g/l	EC	Pst	soja
ioxynil + 2,4-D	Certrol DS	CFPI Agro	100 + 600 g/l	EC	Pst	canne
ioxynil + mécoprop	Dicril G	Rhône-Poulenc	150 + 375 g/l	SL	Pst	canne
isoxaflutole	Merlin	Aventis (Rhône-Poulenc)	75%	WG	Pré	maïs
isoxaflutole + atrazine	Atoll	Aventis (Rhône-Poulenc)	37,5 + 500 g/l	SC	Pré	maïs
mécoprop-P + dichlorprop-P + 2,4-MCPA	Triormone DX	RP Leadagro	130 + 310 + 160 g/l	SL	Pst	canne
MCPA	Callio M 400	Calliope	400 g/l	SL	Pst	-
métazachlore	Butisan S	BASF.	500 g/l	SC	Pré	colza canne
métolachlor	Duélor	Novartis	960 g/l	EC	Pré	maïs
métolachlor	Herbius	Calliope	960 g/l	EC	Pré	canne

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
métolachlor + atrazine	Primagram	Novartis	250 + 250 g/l	SC	Pré	maïs igname
métolachlor + atrazine	Primextra	Novartis	330 + 170 g/l	SC	Pré	maïs
métosulam + fluthiamide	Diplôme	Bayer	2,5 + 60 %	WG	Pré	maïs
métribuzine	Sencor	Bayer / A.L.M.	70 %	WP	Pré	igname canne
metsulfuron méthyle	Allié	Du Pont de N.	20 %	WG	Pré	-
molinate + propanil	Arrosolo	Zeneca	360 + 360 g/l	EC	Pst	riz
molinate	Ordram	Zeneca	750 g/l	EC	Pré	riz
MSMA	Bueno	I.S.K.	-	-	Pst	cotonnier
nicosulfuron	Akizone	Calliope	40 g/l	SC	Pst	maïs
nicosulfuron	Milagro	Zeneca	40 g/l	SC	Pst	maïs
nicosulfuron	Pampa	Aventis (Rhône-Poulenc)	40 g/l	SC	Pst	maïs
oryzalin + diuron	Surflan D	Dow AgroSciences	-	SC	Pré	cotonnier
oxadiargyl + propaamil	Raft PL	Aventis (Rhône-Poulenc)	20 + 400 g/l	EC	Pst	riz pluvial
oxadiargyl	Raft	Aventis (Rhône-Poulenc)	400 g/l	SC	Pré	riz pluvial
oxadiazon	Ronstar 25 EC	Aventis (Rhône-Poulenc)	250 g/l	EC	Pré	riz
oxadiazon	Ronstar 12 L	Aventis (Rhône-Poulenc)	120 g/l	EC	Pré	riz
oxadiazon + propanil	Ronstar PL	Aventis (Rhône-Poulenc)	100 + 300 g/l	EC	Pst	riz
oxadiazon + 2,4-D	Ronstar 2D	Aventis (Rhône-Poulenc)	82 + 83 g/l	EC	Pst	riz
oxasulfuron	Dynam	Novartis	75 %	WG	Pst	soja
oxyfluorène	Goal 2E	Rohm and Haas	240 g/l	EC	Pré	canne manioc
paraquat	Calloxone	Calliope	200 g/l	SL	Pst	total
paraquat	Gramoxone	Zeneca	200 g/l	SL	Pst	total
paraquat	Herbix	Zeneca	100 g/l	SL	Pst	total
paraquat	Pyrilab	RP Leadagro	40 g/l	SL	Pst	total
paraquat + diquat	Gramoxone Plus	Sopra/Zeneca	100 + 50 g/l	SL	Pst	total

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
pendiméthaline	Prowl 400	Cyanamid Agro	400 g/l	SC	Pré	maïs, riz cotonnier
pendiméthaline	Stomp 500	Cyanamid / Shell Chemical	500 g/l	EC	Pré	maïs, riz cotonnier
pendiméthaline	Stomp 400	Shell Chemical	400 g/l	EC	Pré	maïs, riz cotonnier
pendiméthaline + propanil	Chass	Cyanamid	250 + 250 g/l	EC	Psp	riz pluvial riz irrigué
pendiméthaline + atrazine	Tazastomp C	Cyanamid / SOFACO	375 + 250 g/l	EC	Pré	maïs igname
phénothiol + propanil	Herbit Plus	Marubeni	60 + 300 g/l	EC	Pst	riz
piclorame	Tordon 22K	Dow AgroSciences	240 g/l	SL	Pst	-
pipérophos + propanil	Rilof S	Novartis	145 + 250 g/l	EC	Pst	riz
prétilachlore	Sofit	Novartis	240 g/l	EC	Pst	riz
prétilachlore + diméthamétryne	Rifit Extra	Novartis	375 + 125 g/l	EC	Pré	riz
propanil	Stam F34	Rohm and Haas	360 g/l	EC	Pst	riz
propanil	Surcopur	Aventis (Rhône-Poulenc)	360 g/l	EC	Pst	riz
propanil	Surcopur	Bayer	360 g/l	EC	Pst	riz
prosulfuron	Peak	Novartis	75 %	WG	Pst	maïs
prosulfuron + primisulfuron	Ring	Novartis	50 + 30 %	WG	Pst	maïs
pyridate	Lentagran 600	Novartis	600 g/l	EC	Pst	maïs canne
pyrithiobac sodium	Staple	Du Pont de N.	85 %	SP	Pst	cotonnier
pyrithiobac sodium	Staple	Calliope / Kumiaï	85 %	SP	Pst	cotonnier
quinclorac	Facet SC	B.A.S.F.	250 g/l	SC	Pst	riz
quizalofop éthyl D	Targa D+	Aventis (Rhône-Poulenc)	120 g/l	EC	Pst	anti-gram
rimsulfuron	Titus	Du Pont de N.	25 %	WG	Pst	maïs
S-métolachlor + atrazine	Primagram Gold Bisep Magnum	Novartis	290 + 370 g/l	SC	Pré	maïs
sethoxydime	Fervinal	Aventis (AgrEvo / Hoechst)	192 g/l	EC	Pst	anti-gram
sulcotrione	Mikado	Zeneca	300 g/l	SC	Pst	maïs
sulfosate	Ouragan	Zeneca	480 g/l	SL	Pst	total

matière active	produit commercial	fabricant ou distributeur	teneur	form	épo.	type
sulfosate	Touch-down	Zeneca	480 g/l	SL	Pst	total
TCA	Calliact	Calliope	95 %	WP	Pst	canne
terbuthylazine + alachlore	Déclic	Sipcam-Phyteurop	144 + 336 g/l	EC	Pré	-
terbutryne + métolachlor + glyphosate	Cotoprim 425 SC	Novartis	165 + 200 + 60 g/l	SC	Psp	cotonnier
terbutryne + métolachlor	Igran Combi 500	Novartis	167 + 333 g/l	SC	Pré	cotonnier
thiazopyr	Visor	Rohm & Haas	240 g/l	-	Pré	cotonnier
thiobencarbe + propanil	Rical	Calliope	115 + 230 g/l	EC	Pst	riz
thiobencarbe + propanil	Tamariz	Aventis (AgrEvo / Hoechst)	120 + 216 g/l	EC	Pst	riz
triclopyr	Garlon 4	Dow AgroSciences	480 g/l	EC	Pst	anti-dicot
triclopyr + propanil	Garil	Dow AgroSciences	72 + 360 g/l	EC	Pst	riz pluvial riz irrigué
triclopyr + propanil	Rifor	AG-Chem	72 + 360 g/l	EC	Pst	riz pluvial
trifluraline	Tréflan	Dow AgroSciences	480 g/l	EC	Prs	cotonnier
trifluraline	Trifsan	Zeneca	480 g/l	EC	Prs	cotonnier

BASE FLORE

LA GESTION DES DONNEES POUR LES ETUDES DE PHYTO-ÉCOLOGIE DES COMMUNAUTÉS DE MAUVAISES HERBES

Thomas LE BOURGEOIS, Sandrine AUZOUX (CIRAD-CA)

Introduction

La phyto-écologie des communautés de mauvaises herbes consiste à étudier les relations entre les espèces végétales présentes dans les parcelles cultivées et l'ensemble des composantes du milieu. L'analyse de ces relations permet de comprendre les processus qui favorisent ou défavorisent le développement des espèces et l'évolution de l'enherbement d'une parcelle au cours du temps, que ce soit au cours de la saison ou au cours des années d'exploitation.

Parallèlement, la caractérisation de l'écologie des espèces, nous permet par la suite de les utiliser comme indicateurs du milieu de la nature du sol et de son potentiel agronomique, de l'histoire de la parcelle et du degré d'intensification du système de production.

La mise en œuvre de ce type d'étude nécessite de gérer, pour chaque unité d'observation, deux types de données :

- d'une part, l'ensemble des facteurs mésologiques qui caractérisent de façon précise les composantes écologiques, historiques et agronomiques de la parcelle d'observation. La gestion de cette information correspond à un enregistrement défini, car la même liste de variables sera renseignée pour chacune des parcelles,
- d'autre part, les relevés floristiques. Il s'agit là d'une information de type indéfinie, car chaque parcelle ne possède pas le même nombre d'espèces, ni les mêmes espèces.

Aussi, une base de donnée en phyto-écologie doit-elle permettre de gérer ces différents types d'information et doit apporter un certain nombre d'aide et de contrôles lors de la saisie et des facilités pour la gestion de l'information et son extraction en vue de l'analyse ultérieure.

Evolution des procédés

Au cours de l'histoire de la phyto-sociologie et de la phyto-écologie, différents procédés ont été utilisés pour gérer cette information. Ce fut d'abord l'utilisation de cartes perforées, puis la saisie directe sous traitement de texte. Cette dernière se faisait sous la forme de deux fichiers textes, l'un pour les variables mésologiques, l'autre pour la flore dont les espèces sont codées sous numéros. Cette technique, si elle permet d'occuper peu de place sur le disque de l'ordinateur, en revanche présente de grosses contraintes de fiabilité de saisie et d'extraction partielle ou conditionnelle de l'information. La saisie sous tableur améliore la fiabilité de la saisie, car les espèces sont définies par colonne, et facilite l'extraction conditionnelle de l'information. Cependant, ce mode de gestion nécessite de connaître l'ensemble de la flore de l'étude avant de commencer la saisie et oblige à saisir pour chaque relevé une multitude de "0" correspondant à toutes les espèces absentes du relevé. Il est en

effet fréquent qu'une étude porte sur plus de 200 espèces tandis que le nombre d'espèce moyen par relevés est de l'ordre de 20. Il s'est avéré nécessaire de pouvoir gérer l'information liée aux relevés floristiques de façon dynamique. C'est pourquoi, en 1988, nous nous sommes orientés vers les bases de données à saisie assistée comme BASEFLO v.1 (le Bourgeois et Grard, 1988), développée en langage Turbo Pascal. Depuis, la conception de cette base de donnée a été reprise et a évolué sous Access 97 de façon à répondre à certaines contraintes et besoins :

- Organisation de l'information de façon à optimiser la saisie ;
- Assistance et contrôle à la saisie de façon éviter les erreurs de codage et de double saisie ;
- Gestion de différentes études au sein d'une même base de donnée en utilisant une bibliothèque botanique commune, mais en définissant une flore et des variable propres à l'étude ;
- Choix de nomenclature botanique en fonction de la synonymie des espèces ;
- Extraction conditionnelle de l'information en sélectionnant un groupe de relevés en fonction de conditions de milieu ;
- Apport d'outils simples permettant une première analyse de l'information avant de procéder à des statistiques plus complexes :
 - calcul de fréquences des espèces,
 - histogramme de distribution des variables mésologiques qualitatives,
 - reclassement a posteriori de variables quantitatives en variables qualitatives,
 - tableaux croisés de 2 variables qualitatives,
 - profils écologiques des espèces en fonction d'une variable qualitative
- Extraction de l'information sous différents formats en fonction des logiciels d'analyse phyto-écologique ou statistiques classiques ;
- Permettre la gestion de collections (herbier, semencier, photos botaniques, dessins botaniques).

La base de donnée BASE FLORE V 2.0

Cette base de donnée est développée sous Access 97 pour Windows 95. Elle est structurée autour de trois modules :

- ✓ **La bibliothèque botanique**, dans laquelle chaque espèce est référencée avec ses synonymes. On accédera à cette bibliothèque depuis les autres modules chaque fois que l'on doit faire appel à un nom d'espèce.
- ✓ **Le module phyto-écologie**, au sein duquel sont gérées de façon individuelle les différentes études phyto-écologiques et à partir duquel on peut procéder aux premières analyses et à l'extraction des données.
- ✓ **Le module collection**, qui permet la gestion des collections de type herbier, semencier, photographie botanique et dessins botaniques.

La bibliothèque botanique

Dans ce module, les noms des espèces sont définis une fois pour toute à partir de fiches. Chaque fiche d'espèce comprend :

- code international défini par l'OEPP ou un code personnel
- nom de famille
- nom de genre
- nom d'espèce
- nom d'auteur
- niveaux infra-spécifiques.

Il est possible de gérer la synonymie de façon à savoir quels sont les synonymes d'un nom valide (actuellement accepté) ou à l'inverse quel est le nom valide d'un synonyme.

Il est également possible de gérer les noms vernaculaires des espèces en fonction du pays et du dialecte, ainsi que les références bibliographiques liées à une espèce.

La consultation dans ce module se fait à partir de masques, soit pas accès directe à une espèce à partir de son code, soit par le genre qui donnera accès à la liste des espèces appartenant à ce genre. Il suffit alors de cliquer sur l'espèce désirée pour faire apparaître sa fiche complète.

Le module phyto-écologie

Ce module permet de gérer de façon indépendante différentes études. Pour chacune d'elles, l'utilisateur va définir :

- ✓ Les facteurs mésologiques (quantitatif, qualitatif, date, longitude, latitude).
- ✓ Le ou les deux indices d'appréciation de l'importance des espèces dans les relevés.
- ✓ La flore propre à l'étude. Il s'agit d'une sélection au sein de la bibliothèque botanique. Cette flore relative à l'étude peut être générée avant la saisie des relevés ou au fur et à mesure de la saisie des relevés. Pour une espèce donnée, l'utilisateur a le choix d'utiliser le nom valide ou un synonyme. A tout moment, il peut mettre à jour un synonyme par un nom valide ou changer un nom d'espèce en cas d'erreur d'identification. Tous les relevés déjà saisis sont alors automatiquement mis à jour.

Une fois définies ces informations générales, les informations de chaque relevé (facteurs mésologiques et observations floristiques) sont saisies.

Les facteurs sont saisis par accès à des listes déroulantes des différentes modalités. Les espèces sont saisies par leur code ou l'accès au genre puis à l'espèce au sein de la flore de l'étude ou de la bibliothèque botanique lorsque la plante n'est pas encore présente dans la flore de l'étude. La liste des espèces du relevé s'affiche avec les noms complets permettant ainsi de vérifier la saisie de façon explicite.

La saisie de l'information étant terminée, l'utilisateur va pouvoir extraire les données pour de façon conditionnelle soit en sélectionnant les relevés en fonction d'une modalité de certaines variables qualitatives, soit en sélectionnant les relevés par leur nom.

Différentes analyses préliminaires aux analyses statistiques lourdes sont disponibles, qui apportent déjà une première vision sur la qualité de l'échantillonnage et sur l'importance des espèces et de la relation entre leur présence et les facteurs environnementaux :

- calcul de fréquences des espèces,
- histogramme de distribution des variables mésologiques qualitatives,
- tableaux croisés de 2 variables qualitatives,
- profils écologiques des espèces en fonction d'une variable qualitative.

Différentes sorties sont accessibles :

- liste des espèces de la flore de l'étude, triées par code, genre ou famille,
- liste des espèces de la flore propre au groupe de relevés sélectionnés, triées par code, genre ou famille,
- liste des relevés pour une espèce particulière
- extraction des données sous différents formats pour analyse statistique (profils écologiques complets -INFECO-, analyses multivariées, analyses multivariées sur variables instrumentales). Lors de cette extraction, il est possible de sélectionner les variables qui seront prises en compte dans l'analyse et d'obtenir immédiatement la disjonction des variables qualitatives. Les espèces peuvent être extraites soit en présence/absence, soit en fonction de leur indice d'abondance.

Le module collections

Ce module permet l'enregistrement et la gestion de toute collection se rapportant aux plantes dont le nom est enregistré dans la bibliothèque botanique.

On peut ainsi gérer des échantillons d'herbier, des échantillons de semencier mais également des photos et des dessins botaniques. Chacun des échantillons de ces collections est référencé en fonction de l'espèce à laquelle il se rapporte, du collecteur, du lieu et de la date de récolte, de l'identificateur et du lieu de conservation.

L'OBSERVATION DE L'ENHERBEMENT

L'observation de l'enherbement à diverses périodes du cycle cultural fait partie des observations indispensables pour caractériser le fonctionnement des parcelles cultivées.

La connaissance de la flore

La reconnaissance des mauvaises herbes est un préalable indispensable à l'observation de l'enherbement ¹. Si les guides illustrés et les florules peuvent utilement aider à l'identification des espèces de la flore des mauvaises herbes, ils ne sont jamais assez complets, ni assez précis pour être les seules sources d'information en botanique. C'est pourquoi il a été proposé de constituer des herbiers.

La confection d'un herbier n'est bien sûr pas un objectif en soi, mais l'herbier est un outil absolument indispensable pour se former à la reconnaissance des nombreuses espèces qui composent la flore des mauvaises herbes. Un herbier devra être confectionné sur chaque terroir villageois et un double sera conservé à la station par le chercheur responsable. Ces herbiers serviront à :

- ✓ faciliter les identifications sur place,
- ✓ transmettre l'information d'un observateur à l'autre,
- ✓ comparer les déterminations d'un site à l'autre,
- ✓ vérifier les relevés floristiques après les périodes d'observations.

On prélèvera des échantillons à plusieurs stades de développement, dès que l'on rencontre l'espèce, puis à des stades ultérieurs au fur et à mesure que les plantes se développent. Chaque échantillon devra être accompagné d'une étiquette avec un nom d'identification, ainsi que la date et le lieu de récolte.

En complément de l'herbier, il serait intéressant d'établir les correspondances des noms d'espèces avec leur appellation en langues locales ².

Les relevés floristiques

Le suivi des mauvaises herbes se fait par des relevés floristiques qui décrivent la composition de la flore dans un site d'observation. La démarche est la suivante :

¹ Pour les déterminations des espèces, hormis les ouvrages botaniques comme Adventrop, on pourra s'appuyer sur les herbiers de références, comme ceux des Universités nationales ; il sera également possible d'envoyer pour identification des échantillons à l'herbier du CIRAD à Montpellier.

² Il faut faire attention à l'emploi des noms de plante en langues locales :

- ✓ des plantes différentes sont souvent appelées du même nom correspondant à un même usage ou à un même comportement,
- ✓ des noms différents sont donnés à une même espèce,
- ✓ beaucoup d'espèces n'ont pas de noms parce qu'elles n'ont pas d'intérêt pour les habitants de la région.

- choix des sites d'observations : les relevés floristiques ne sont pas effectués sur l'ensemble d'une parcelle, mais sur des sites d'observation ³ de quelques dizaines de mètres carrés (de 20 à 50 m²). Ces sites doivent être homogènes, notamment par rapport aux conditions du milieu (type de sol, résidus de défriche, etc...) et aux dates d'interventions (plantation, sarclage, etc...). L'échantillonnage des sites d'observation doit être stratifié en fonction des facteurs prépondérants : nature du sol, topographie, culture, système de culture, nombre d'années de culture, etc... Les sites sont normalement choisis au hasard ⁴ au sein des parcelles ; il faudra toutefois veiller à se trouver dans une zone homogène et éviter les endroits particuliers : rochers, termitières ou fourmilières, gros arbres, abondance de souches plus fortes que sur le reste de la parcelle, etc...
- périodicité des relevés : les relevés pourront être effectués environ quatre fois par an : une fois avant la mise en culture et trois fois au cours du cycle cultural.
- estimation de l'enherbement global ⁵ par une note de recouvrement de 1 à 9, suivant l'échelle ⁶ et la méthode indiquées ; dans certaines situations, il sera nécessaire d'adjoindre une note prenant en compte la hauteur de la végétation ⁷.
- relevé pondéré des espèces présentes : on relève la liste des espèces présentes ⁸ sur le site d'observation et on attribue ensuite une note à chacune de ces espèces, indépendamment. L'échelle et la méthode sont les mêmes que pour l'enherbement global.
- notation des facteurs ⁹ : chaque relevé doit être accompagné des états de chacun des éléments suivants :
 - pour le repérage du relevé

³ Surface d'observation : il ne s'agit pas de mesure de production, mais d'estimation visuelle, il n'est donc pas besoin de piqueter les quatre coins, comme sur une parcelle de rendement. Par contre, il vaut mieux mettre un piquet de repérage pour retrouver le site d'observation.

⁴ Souvent, la détermination des points d'observation est faite sur le terrain à partir de comptage de rangs ou de longueur de ligne de culture. Dans le cas où il n'y a de plantation en ligne, il faudra opérer en comptant un nombre de pas prédéterminés et orientés à partir de la bordure de la parcelle.

⁵ Les relevés floristiques pondérés par notations visuelles ne sont pas destructifs, ce qui permet de répéter les observations sur un même site tout au long du cycle cultural et même d'un cycle à l'autre (à condition de repérer les emplacements par des piquets stabilisés).

⁶ La notation de l'enherbement inclut toute la végétation non desséchée, hormis la ou les culture(s).

⁷ La note de hauteur sera affectée en fonction de la hauteur moyenne de la végétation par tranche de 50 cm : **1** de 0 à 0,5 m, **2** de 0,5 à 1,0 m, **3** de 1,0 à 1,5 m, **4** de 1,5 à 2,0 m, etc....

⁸ Dans un premier temps, il faudra employer les noms locaux (ou n'importe quelles appellations qui permettent d'identifier la plante), puis, au fur et à mesure des déterminations, on adoptera les noms botaniques.

⁹ Pour chacun des facteurs, on définit des états de facteur, par exemple :

- ✓ pour le facteur "topographie" : bas - milieu - haut
- ✓ pour le facteur "sol" : sol ferrugineux - sol gravillonnaire - sol sableux - etc...
- ✓ pour le facteur "système de culture" : culture manuel - culture attelée - etc...

- ⇒ le numéro du relevé
- ⇒ le code du site (parcelle)
- ⇒ le nom de l'observateur qui fait le relevé
- ⇒ le village
- ⇒ le nom de l'agriculteur
- ⇒ etc...

- pour les facteurs du milieu
 - ⇒ la date de l'observation
 - ⇒ le type de sol
 - ⇒ la position topographique
 - ⇒ etc...

- pour la parcelle
 - ⇒ le nombre d'années de culture
 - ⇒ le précédent cultural
 - ⇒ le système de culture
 - ⇒ etc...

- pour la culture
 - ⇒ les cultures en place (majeures, secondaires)¹⁰
 - ⇒ le stade de développement de la (ou des) culture(s)
 - ⇒ la dernière intervention (plantation, sarclage, désherbage, récolte, etc...)
 - ⇒ la date de la dernière intervention

L'analyse des données

Après avoir vérifié que l'échantillonnage des sites d'observation était bien équilibré, l'analyse des relevés floristiques conduit à la caractérisation de la flore des mauvaises herbes, en dressant la liste des espèces composant l'enherbement des cultures, en décrivant la richesse floristique par classe et par famille et en dégagant les espèces dominantes ou abondantes qui posent de réels problèmes de désherbage. Ensuite, la comparaison du développement des mauvaises herbes entre les différentes situations rencontrées permet de déterminer l'influence des facteurs du milieu sur l'enherbement global et les différentes espèces.

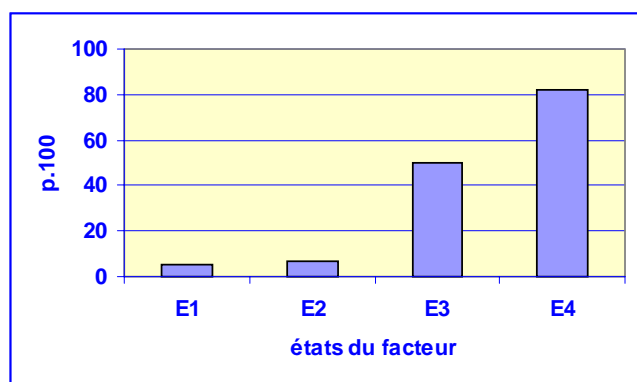
L'analyse des relevés floristiques repose sur le calcul de la fréquence et du recouvrement moyen de chaque espèce pour chacun des états de facteurs, ce qui permettra d'estimer l'influence de ce facteur sur le comportement de l'espèce considérée. Le tableau suivant

¹⁰ Cas des plantes spontanées utiles. On rencontre sur les parcelles cultivées des plantes spontanées, donc non semées, mais que les agriculteurs ne détruisent pas parce qu'elles sont utilisées soit en cuisine (pour faire des sauces, par exemple), soit en médecine traditionnelle, soit dans l'artisanat (comme récipient, plantes à fibre, etc...). Ces espèces n'ont pas vraiment le statut de mauvaises herbes, mais il ne s'agit pas de cultures associées, puisqu'il n'y a pas d'implantation de ces espèces. Cependant, elles exercent une concurrence avec la culture, il faut donc en tenir compte dans l'analyse des populations de la parcelle. D'un point de vue phyto-écologique, il est préférable de les traiter comme des mauvaises herbes et non comme des cultures associées ; mais, à l'analyse, il faut leur réserver une place à part (comme pour les plantes de couverture).

indique le mode de calcul de la fréquence d'une espèce pour les différents états ¹¹ d'un facteur. Il fait apparaître la fréquence absolue, qui est le nombre de relevés où l'espèce est présente, la fréquence relative, qui est le rapport entre la fréquence absolue et le nombre de relevés de l'état de facteur considéré, et, également, la fréquence corrigée, qui correspond à la fréquence relative dans un état de facteur divisée par la fréquence relative sur l'ensemble des relevés. Cette fréquence corrigée permet de comparer le comportement des différentes espèces, même si elles n'ont pas des fréquences comparables.

	état 1	...	état i	...	ensemble des relevés
nombre de relevés	R1	...	Ri	...	RT
fréquence absolue	N1	...	Ni	...	NT
fréquence relative	$Fr1 = N1/R1$...	$Fri = Ni/Ri$...	$FrT = NT/RT$
fréquence corrigée	$(Fr1/FrT) \times 100$...	$(Fri/FrT) \times 100$...	100

La même analyse peut être faite avec les sommes des notes attribuées à chaque espèce, exprimées en pourcentage de recouvrement ou exprimées avec un coefficient d'encombrement en multipliant la note de recouvrement par la note de hauteur.



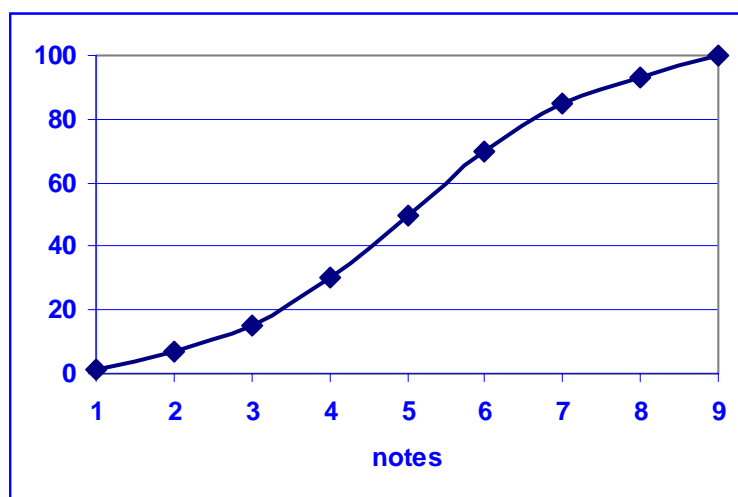
Ces calculs aboutissent à l'établissement de profils écologiques, qui définissent les situations favorables au développement des espèces les plus envahissantes ou déterminent les espèces caractéristiques de certaines conditions agro-écologiques, ce qui en fait de bonnes espèces indicatrices du milieu. (cf. graphe ci-contre : exemple fictif de profil écologique pour un facteur à 4 états, E1 à E4)

Ces relevés floristiques, qui représentent un volume très important de données, peuvent être traités facilement avec le logiciel BASE FLORE, développé par T. LE BOURGEOIS à AMATROP (cf. la présentation du logiciel).

¹¹ Dans la pratique, on limitera le nombre d'états d'un facteur à analyser pour que le nombre de relevés par état soit suffisant. Pour les variables quantitatives, entières ou continues, on sera amené à créer des classes qu'il faudra équilibrer par rapport au nombre de relevés dans chaque classe. Pour les données qualitatives (type de sol, etc...), on pourra faire des regroupements.

Echelle de notation

- ✓ pour le recouvrement des mauvaises herbes ^a,
- ✓ pour l'efficacité des herbicides ^b,
- ✓ pour la sélectivité des herbicides ^c.



note	p.100	Recouvrement	Efficacité	Sélectivité
1	1	espèce présente, mais rare	aucune efficacité	aucun signe de phytotoxicité
2	7	moins d'un individu m ²	efficacité très faible	quelques taches, décolorations
3	15	au moins un individu m ²	efficacité peu marquée	taches nombreuses fortes décolorations
4	30	30 % de recouvrement	efficacité médiocre	30 % de perte par rapport au témoin
5	50	50 % de recouvrement	enherbement diminué de 50 %	50 % de perte par rapport au témoin
6	70	70 % de recouvrement	efficacité modérée	forte phytotoxicité 70 % de perte
7	85	recouvrement fort	efficacité acceptable	très forte phytotoxicité 85 % de perte
8	93	très peu de sol apparent	bonne efficacité	quelques pieds survivent plus de 90 % de perte
9	100	recouvrement total	efficacité parfaite	destruction totale des plantes

^a Le recouvrement est estimé en pourcentage par rapport au sol.

^b L'efficacité est estimée par comparaison du volume des organes aériens des mauvaises herbes sur la parcelle traitée par rapport à celle du témoin adjacent.

^c La sélectivité du traitement est estimée par la comparaison de la phytotoxicité observée sur la plante cultivée de la parcelle traitée par rapport au développement de la culture sur le témoin non traité. La phytotoxicité peut se traduire par des mortalités de pieds, par des taches ou des jaunissements sur les feuilles, ou encore par des ralentissements de croissance.