



Volume II. Chapitre 2

Le choix des itinéraires techniques

Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Krishna NAUDIN,
Narcisse MOUSSA, Roger MICHELLON, Hasina ANDRIANASOLO
Célestin RAZANAMPARANY, Christian RAKOTOARINIVO,
RAKOTONDRAMANANA, Frank ENJALRIC, Lucien SEGUY

Novembre 2009



Ministère de l'Agriculture,
de l'Élevage et de la Pêche

Le choix des itinéraires techniques

1. Le choix des itinéraires techniques les plus adaptés à une situation donnée

L'itinéraire technique est "la combinaison logique et ordonnée des techniques mises en œuvre sur une parcelle en vue d'obtenir une production".

Il comprend ainsi les opérations :

- de préparation de la parcelle (travail du sol éventuel en année "zéro" de préparation des SCV, traitement de la couverture, paillage, écobuage, etc) ;
- de semis (y compris le choix de la variété et le traitement de semences) ;
- d'application de produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides) ;
- de sarclage (en année "zéro") ou d'arrachage des adventices ;
- les apports d'engrais minéraux ou organiques ;
- la récolte ;
- les pratiques post-récolte qui préparent la saison de culture suivante.

Toutes ces opérations sont raisonnées en interactions avec pour objectif d'optimiser les productions (en fonction des objectifs et des moyens), en assurant aux cultures (et éventuellement aux plantes associées) une bonne alimentation hydrique et en éléments nutritifs, en les plaçant dans de bonnes conditions pour capter le rayonnement solaire et en minimisant les attaques des bioagresseurs. L'atteinte de ces objectifs passe en particulier par :

- l'obtention et le maintien d'une bonne structure du sol (qui permet infiltration et stockage de l'eau, et enracinement profond des plantes) ;
- une alimentation régulière et équilibrée en éléments nutritifs ;
- le contrôle des adventices (dont la compétition pour l'eau, les éléments nutritifs et la lumière est très dommageable aux cultures).



Rotation maïs + niébé // riz en semis direct sur baiboho au lac Alaotra

Dans les systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente (SCV), la gestion de la fertilité (au sens large, y compris la structure du sol et l'alimentation hydrique et minérale), des adventices et des bioagresseurs se fait avant tout par les systèmes de cultures. Ces systèmes sont choisis pour remplir un certain nombre de fonctions écosystémiques et permettre un bon fonctionnement des sols (en particulier sur le plan biologique), assurés par un turn-over important et rapide de la matière organique.

Pour être performants, ces systèmes de cultures doivent produire une forte biomasse (aérienne et racinaire), en particulier les premières années d'entrée en semis direct. Pour cela, les itinéraires techniques doivent s'adapter aux conditions locales (unités agronomiques et caractéristiques des exploitations et des terroirs) afin d'optimiser la production de grains (ou tubercules) et la biomasse totale du système.

Baiboho :
sol alluvial ou colluvial, riche en limons (terme malgache)

Ainsi, le choix des systèmes (cf. Volume II. Chapitre 1.) et des itinéraires techniques se fait en interactions : les itinéraires techniques possibles sont fonction des systèmes de cultures puisque les associations et successions de cultures sont déterminants dans le choix des opérations culturales à conduire. Inversement, le choix du système de culture est influencé par les différents itinéraires techniques possibles qui doivent :

- être compatibles avec les moyens qui peuvent être mis en œuvre par les agriculteurs (intrants, travail, risque, etc.) ;
- avoir des performances permettant d'atteindre les objectifs fixés (cf. Volume II. Chapitre 1.) en termes de production (grains, tubercules, fourrages), de coûts, de limitation des risques, mais aussi en termes de production et restitution d'une biomasse suffisante et diversifiée pour permettre un bon fonctionnement agronomique des SCV.

Le choix des itinéraires techniques

Le choix du système de culture et de l'itinéraire technique associé à une situation donnée (unité agronomique et caractéristiques de l'exploitation et du terroir) se fait sur la base de principes de fonctionnement des SCV et de critères et règles de décisions. Ces critères et ces règles s'appliquent de la même manière en première année d'intervention (année "zéro", pour préparer le lit du semis direct sur couverture végétale permanente), et les années suivantes. Cependant, si les critères et les règles de décisions sont les mêmes, les itinéraires techniques qui en découlent en pratique varient fortement. Dans des systèmes SCV installés, sur une forte biomasse, l'essentiel des fonctions écosystémiques est assuré par les plantes et l'activité biologique. Durant l'année (ou les années) de transition, le temps que les systèmes SCV puissent remplir ces fonctions fondamentales, elles doivent être assurées par l'itinéraire technique. Ainsi, après l'année "zéro" (ou les années) de préparation des SCV, les situations rencontrées sont (normalement) différentes du fait de l'action des systèmes installés pour préparer le semis direct, qui ont dû lever les principales contraintes : plus forte disponibilité en biomasse, absence d'adventices vivaces, baisse de la compaction, etc.

Si l'année "zéro" n'a pas permis d'obtenir une structure du sol (en surface et en profondeur) permettant le semis direct, si les plantes vivaces n'ont pas été contrôlées correctement et/ou si la biomasse produite (et maintenue sur la parcelle) n'est pas suffisante pour contrôler suffisamment les adventices, il faut considérer que l'on est toujours en année "zéro" de préparation du semis direct pour décider des systèmes de cultures et itinéraires techniques à appliquer. A l'inverse, si dès le début de l'intervention la structure du sol est bonne et la biomasse disponible est suffisante, on peut se considérer directement en année 1 et effectuer un semis direct sur couverture végétale, sans avoir besoin d'une année "zéro" de préparation.

Ces principes de décision pour le choix des systèmes de culture et des itinéraires techniques associés sont aussi les mêmes que l'on se trouve sur *tanety* ou sur rizières. Les différences dans le choix des systèmes et des itinéraires techniques entre ces deux unités de paysage sont dues au fait que la fertilité des rizières est souvent meilleure, que le régime hydrique y est différent et que la pression des adventices dans les rizières (en l'absence d'une nappe d'eau), est en général plus forte que sur les *tanety*. Il convient donc de prendre des mesures plus efficaces pour les contrôler.



Fort production de biomasse par l'association maïs + dolique en année "zéro" de préparation de SCV



Tanety : colline (terme malgache)

Avertissement

Ce chapitre 2 du volume II du manuel pratique du semis direct à Madagascar présente l'ensemble des informations qui peuvent permettre aux formateurs et aux cadres de la diffusion d'ajuster les itinéraires techniques à la parcelle. La diversité des situations et des systèmes possibles, le nombre important de facteurs à prendre en compte et les multiples interactions font que ce document est complexe. Ce chapitre exige donc une lecture très attentive.

En pratique, la mise en œuvre des systèmes SCV dans une situation donnée est beaucoup moins complexe. Pour une situation donnée, la hiérarchisation des contraintes permet de déterminer les étapes prioritaires de l'itinéraire technique pour solutionner les contraintes les plus limitantes. Il suffit alors de consulter les pages du manuel qui traitent de ces aspects, pour la situation en question.

Pour guider le lecteur, la mise en page donne des repères sur les différentes étapes (onglets de couleur et rappels des titres dans la marge, agencement commun) et chaque grande section se termine par un résumé. De nombreux exemples (dans des encadrés de couleur rouge) illustrent les propos et les principes généraux (présentés dans des encadrés bruns).

La première section de ce chapitre ("le choix des itinéraires techniques les plus adaptés à une situation donnée") présente des rappels d'agronomie générale sur les itinéraires techniques et n'est pas propre aux SCV. L'agronome averti peut la "survoler", en s'intéressant avant tout aux exemples, plus proches de la pratique des SCV.

Le choix des itinéraires techniques

L'ajustement de l'itinéraire technique

L'ajustement de l'itinéraire technique est un point clé qui détermine les performances des systèmes de culture. Chaque opération culturale doit être conduite de manière précise car elle permet d'ajuster les conditions de culture pour les rendre les plus favorables possibles, dans la situation considérée (unité agronomique x caractéristiques de l'exploitation), à laquelle il faut s'adapter car elle est difficilement modifiable. Ainsi, les différentes opérations culturales représentent les "commandes" permettant de "piloter" les systèmes. Un bon "réglage" rend un système performant, alors que des pratiques mal adaptées peuvent rendre le même système, dans la même situation de départ, totalement inopérant.

Même si l'itinéraire technique se raisonne globalement en début de campagne, il doit être en permanence réajusté en cours de culture, pour faire face aux imprévus et s'adapter à la situation réelle dans le champ, à tout moment.

La conduite d'un itinéraire technique performant demande donc un suivi fin et des observations précises, de la souplesse, de la réactivité et une grande capacité d'adaptation.

De même, ces principes sont les mêmes que l'on se trouve sur une parcelle cultivée ou que l'on remette en culture une jachère ou une terre abandonnée. La seule différence réside dans le fait que la flore des parcelles cultivées est en général dominée par des plantes annuelles, alors que les jachères sont la plupart du temps constituées de plantes pérennes et produisent en général une forte biomasse.

Enfin, les itinéraires techniques forment un tout. Les différentes opérations culturales sont en interactions, influençant et étant influencées par les autres opérations.

Le raisonnement d'un itinéraire technique se fait donc :

- dans un ensemble qui se doit d'être le plus cohérent possible pour maintenir des conditions optimales pour les plantes, tout au long de leur cycle (et en préparant la saison suivante) ;
- de manière très précise, en prenant en compte différents facteurs qui déterminent les possibilités, les contraintes et les besoins des différentes opérations culturales ;
- en s'ajustant en permanence à l'évolution des conditions dans la parcelle (adventices, bioagresseurs, etc.).

1.1. Les facteurs à prendre en compte

Le choix de l'itinéraire technique se raisonne pour un système de culture donné. Il se raisonne également pour une situation donnée : les caractéristiques de la parcelle (unité agronomique) et de l'exploitation déterminent largement les contraintes, les besoins et les opportunités. Le choix se fait sur la base d'un diagnostic rapide, qui permet d'identifier et de hiérarchiser les principales contraintes à lever en priorité. Il doit prendre en compte :



Riz pluvial sur couverture vive d'Arachis pintoï

- les systèmes de cultures et associations de plantes (page 5) ;
- le climat et le régime hydrique (page 6) ;
- la végétation en place et la pression des adventices (page 8) ;
- la battance des sols, l'induration en surface et la compaction en profondeur (page 9) ;
- le niveau de fertilité du sol (page 10) ;
- la pression des bioagresseurs (page 10) ;
- les objectifs de production (page 11) ;
- les opportunités de commercialisation et les bénéfices attendus (page 11) ;
- les risques d'échec et le niveau de risque acceptable (page 12) ;
- l'accès aux intrants (page 12) ;
- la disponibilité de la force de travail et du matériel (page 13).



Le choix des itinéraires techniques

Les systèmes de culture et les associations de plantes

Les systèmes de culture, et en particulier les plantes à mettre en place, déterminent largement les itinéraires techniques. Les caractéristiques des plantes cultivées comme :

- leur cycle ;
- leur vigueur au départ ;
- leur port (érigé, volubile, rampant) et leur taille ;
- la taille des graines ;
- les possibilités d'implantation par boutures (qui permettent un démarrage plus rapide que par graines) ;
- leur compétitivité par rapport aux adventices (liée à ces caractéristiques et à d'éventuelles aptitudes allélopathiques) ;

ont une influence sur :

- la date de semis ;
- le mode de semis : à la volée, en poquets ou en lignes (x profondeur du semis) ou par boutures ;
- la densité de semis ;
- l'agencement des plantes entre elles dans le cas d'associations.

Ces quatre paramètres du semis sont ajustables en interactions, pour obtenir une mise en place optimale des cultures et des plantes associées.

Les exigences des plantes sur le plan de la fertilité influencent non seulement les besoins en termes de fertilisation, mais aussi les paramètres du semis.

Ces caractéristiques des plantes auxquelles s'ajoute un éventuel potentiel allélopathique déterminent leur aptitude à dominer (ou non) les adventices et donc l'ensemble des modes de contrôle des adventices à mettre en œuvre (précédent cultural, modalités du semis, traitements herbicides, etc.)

Les différentes cultures ont des sensibilités aux bioagresseurs différentes, et nécessitent ou non des traitements phytosanitaires. Les systèmes de culture influencent également les moyens



Forts dégâts des criquets sur le maïs
Vigna umbellata indemne
Sud-Ouest malgache

de contrôle des insectes nécessaires : l'insertion dans les associations/successions de plantes avec des effets répulsifs ou insecticides permettant de réduire les besoins, la biodiversité des systèmes permettant de maintenir des équilibres auxiliaires/ravageurs favorables.

L'ensemble de ces caractéristiques des plantes cultivées et des plantes de couverture sont propres aux espèces mais aussi aux variétés. Certaines espèces comme le niébé montrent une très forte variabilité variétale ce qui permet et rend indispensable d'ajuster dans le détail les systèmes de culture, en précisant les variétés employées.

Les facteurs à prendre en compte

Les systèmes de culture et les associations

Exemples sur les caractéristiques des plantes

Les plantes à grosses graines (comme le niébé ou la mucuna) démarrent généralement plus rapidement que les plantes à petite graines (comme le stylosanthes). Elles permettent une production de biomasse plus importante en un temps réduit, mais peuvent entraîner une concurrence avec la culture en cas d'association.

De même, un brachiaria implanté par bouture démarre beaucoup plus vite que s'il est implanté par graines, et produit plus rapidement une forte biomasse. En association, pour éviter une compétition avec la culture, il doit être bouturé 15 jours plus tard que s'il était semé, ou avec un espacement plus important. Les graines de brachiaria étant capables de germer en profondeur, il est possible de les semer en même temps que le riz en association, à condition de les implanter en profondeur (3-4 cm) pour retarder leur émergence.

Dans une association maïs + brachiaria, la localisation d'engrais au pied du maïs permet de réduire les risques de concurrence par la plante de couverture et donc de semer le brachiaria plus tôt ou plus rapproché du maïs.

Le choix des itinéraires techniques

Les facteurs à prendre en compte

Les systèmes de culture et les associations

Le choix de l'itinéraire technique se raisonne donc pour un système de culture précis, et a une influence déterminante sur les performances du système: l'impossibilité de conduire à bien les opérations culturales nécessaires à un système doit conduire à éliminer ce système des choix possibles. Le choix des systèmes de culture fait l'objet du Chapitre 1 du Volume II de ce manuel. Lors de ce choix des systèmes, on doit donc s'assurer que les moyens nécessaires (intrants, travail aux périodes critiques, etc.) sont disponibles pour conduire les itinéraires techniques possibles, dans chaque situation. Dans le cas où les réflexions sur l'itinéraire technique détaillé, pour une situation donnée (parcelle x système de culture choisi) mettent en évidence un blocage qui n'avait pas été identifié lors du choix des systèmes (intrants ou semences des variétés adaptées pas accessibles, main d'œuvre indisponible à une période clef, etc.) et qui ne peut pas être contourné par des adaptations de l'itinéraire technique, il faut revenir sur le choix du système de culture.

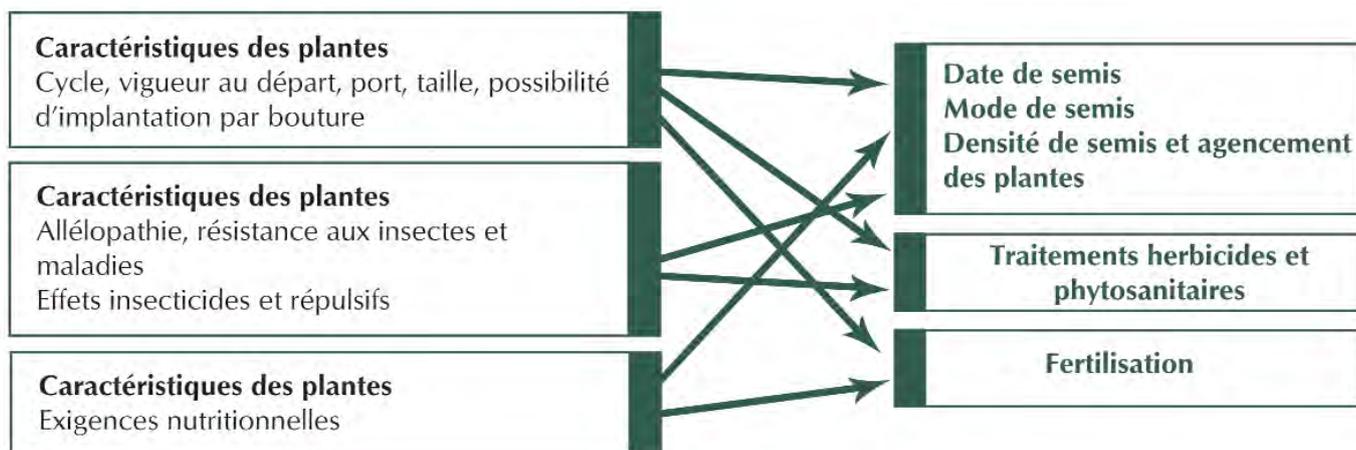
Exemples sur les caractéristiques des plantes

Une variété de niébé érigée comme la variété "David" ne risque pas de faire de compétition pour la lumière à du maïs, contrairement à une variété volubile. Il peut être associé avec du riz pluvial, mais son cycle court fait qu'il doit être géré avec précaution, et ce d'autant plus que la fertilité est limitée et que le riz pousse lentement (semis du niébé décalé de 15 jours par rapport au riz, sauf sur les hautes terres où son cycle s'allonge).

Une plante comme l'avoine, grâce à ses aptitudes allélopathiques permet de réduire fortement la pression des adventices et prépare des parcelles "propres".

Les variétés de riz Sebota 93 ou 101 qui ont un port "fermé" doivent être semées avec un espacement entre lignes plus resserré que la variété Sebota 1 qui a un port plus étalé et en conséquence qui couvre le sol et fait de l'ombre aux adventices plus rapidement.

Sur les hautes terres malgaches, le radis fourrager permet de réduire fortement la pression d'*Heteronychus sp.* sur la culture suivante, et de supprimer le traitement insecticide des semences.



Le climat et le régime hydrique

Le climat et le régime hydrique

Le climat (précipitations et températures) et le régime hydrique (engorgement, inondation, position et mouvements de la nappe phréatique, remontées capillaires, possibilités d'irrigation et de drainage) déterminent les périodes de culture possibles. Ils ont donc une forte incidence sur les systèmes possibles, mais également sur les itinéraires techniques à mettre en place. Ils influencent fortement la date de semis des cultures et des plantes de couverture qui doit permettre une bonne alimentation en eau tout au long du cycle (sans manque et sans excès que les plantes ne supporteraient pas), et des températures permettant le bon développement des plantes. L'installation d'une plante de couverture dans une culture doit se faire au moins deux mois avant la fin (estimée) des pluies et/ou l'arrivée de la saison froide pour que la couverture puisse s'installer correctement. Plus la saison des pluies/chaude est courte, plus la culture et la plante de couverture doivent être cultivées ensemble, et moins

Le choix des itinéraires techniques

le décalage du semis de la plante de couverture est possible. La cohabitation des plantes se gère alors avant tout par la disposition dans l'espace (densité de semis mais aussi agencement des plantes, en doubles rangs par exemple) et un apport localisé d'engrais. De plus, l'association d'une plante de couverture avec une culture dans un milieu à faible pluviométrie doit se faire de manière à éviter une trop forte compétition pour l'eau, et donc avec des densités faibles.

Ainsi, le climat et le régime hydrique influencent directement :

- le calage des cycles (date de semis et variété) ;
- la densité de semis et l'agencement des plantes entre elles ;
- les besoins en irrigation et/ou drainage quand ils sont possibles ;
- les besoins pour la préparation des couvertures : date d'application des herbicides dans les climats à saison sèche, mode de contrôle des couvertures dans les climats gélifs (besoins et doses d'herbicide).

Ils influencent dans une moindre mesure, car indirectement :

- le mode de semis (pour permettre le semis à une date particulière) ;
- la fertilisation à apporter. D'une part, elle doit être adaptée pour obtenir une production de biomasse suffisante pour permettre un bon fonctionnement des SCV (le climat influençant à la fois le potentiel de production et la vitesse de minéralisation). D'autre part, le risque climatique a une grande influence sur la rentabilité d'un apport d'engrais coûteux ;
- les méthodes de lutte contre les adventices à mettre en œuvre (le type de flore et la pression des adventices étant influencés par le climat et le régime hydrique).

L'irrigation quand elle est possible, permet de lever (au moins partiellement) les contraintes hydriques et de s'affranchir de la principale contrainte climatique. Elle offre de nombreuses possibilités d'associations et de successions de cultures, permettant d'implanter les cultures sur une période plus longue. Elle permet également de lutter contre l'enherbement (irrigation par submersion) et certains insectes. On cherche, dans ce cas, à optimiser les productions, pour couvrir les coûts élevés de cette pratique, en adaptant la fertilisation en particulier.

Les facteurs à prendre en compte

Le climat et le régime hydrique

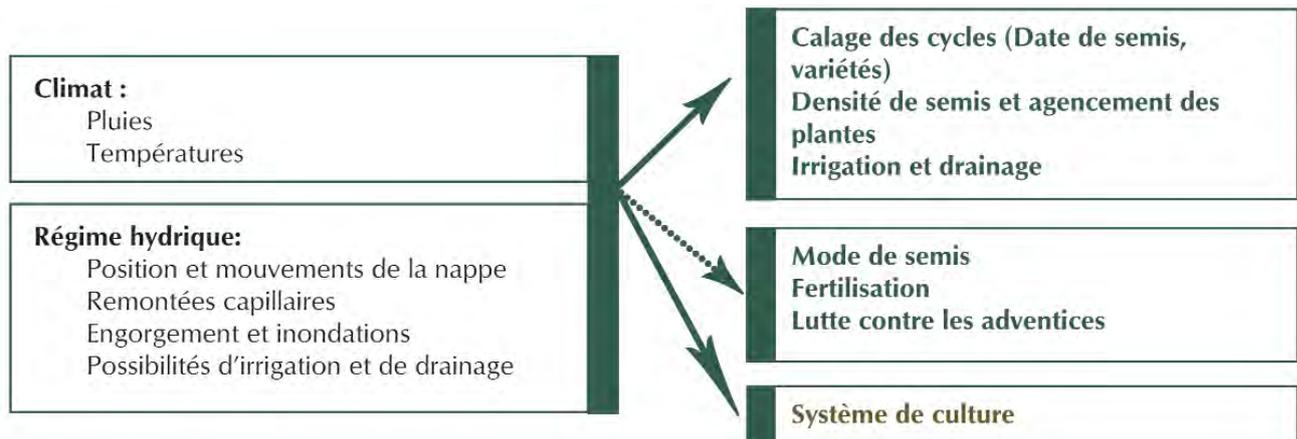
Exemples de l'influence du climat

Dans le Sud-Est humide, le système associant manioc et brachiaria sur des sols compactés permet de doubler facilement les rendements du manioc et est très facile à gérer, le brachiaria pouvant être semé avant, pendant ou après la plantation du manioc. Au lac Alaotra et encore plus dans le Sud-Ouest, du fait de la saison sèche marquée, le même système exige une implantation du brachiaria quelques mois après le manioc, en début de saison des pluies (faute de quoi une compétition forte du brachiaria pour l'eau peut entraîner une baisse de la production de manioc).

Sur les hautes terres, il est possible de semer de l'avoine à la volée dans le soja avant qu'il ne perde ses feuilles (plutôt qu'en poquets après la récolte). Cette pratique permet une meilleure production de biomasse par l'avoine avant l'arrivée de la saison froide.

Toujours sur les hautes terres, mais dans les rizières, un drainage en fin de saison des pluies permet d'implanter plus rapidement de la vesce (qui ne supporte pas l'engorgement), et ainsi d'augmenter considérablement sa production.

Dans le Sud-Ouest, la forte incertitude climatique rend difficile car risqué l'investissement dans des engrais. Un semis très précoce réduit ce risque et accroît l'intérêt d'apporter une fertilisation. A l'inverse, l'apport d'engrais est trop risqué quand le semis est tardif.



Le choix des itinéraires techniques

Les facteurs à prendre en compte

La végétation et la pression des adventices

La végétation en place et la pression des adventices

L'étude de la flore en place est déterminante dans le processus de décision concernant les itinéraires techniques. Elle suppose une connaissance des principales espèces présentes dans les différents milieux à Madagascar (cf. Annexe 1.) et donne des indications sur le milieu (fertilité des sols, compaction, régime hydrique, etc.). Le type de flore et la quantité de biomasse disponible sont déterminants dans le choix de l'itinéraire technique, et en particulier :

- la préparation des parcelles, à ajuster en fonction de la biomasse disponible et de l'abondance et du type de plantes vivaces ;
- l'ensemble des pratiques (en interactions) visant à contrôler les adventices : choix du système de culture, préparation de la parcelle, modalités du semis (variété, date, densité, etc), traitements herbicides, mise en eau, etc.

La présence de plantes vivaces et la pression des adventices annuelles (très forte dans certains milieux comme les rizières à mauvaise maîtrise d'eau) doivent être connues afin de gérer au mieux leur contrôle. Il est en particulier indispensable de connaître le type d'adventices présentes (graminées comme *l'Ischaemum rugosum* par exemple, cypéracées ou plantes à feuilles larges) ainsi que les herbicides applicables en fonction des cultures, et leur action sur les différentes plantes.



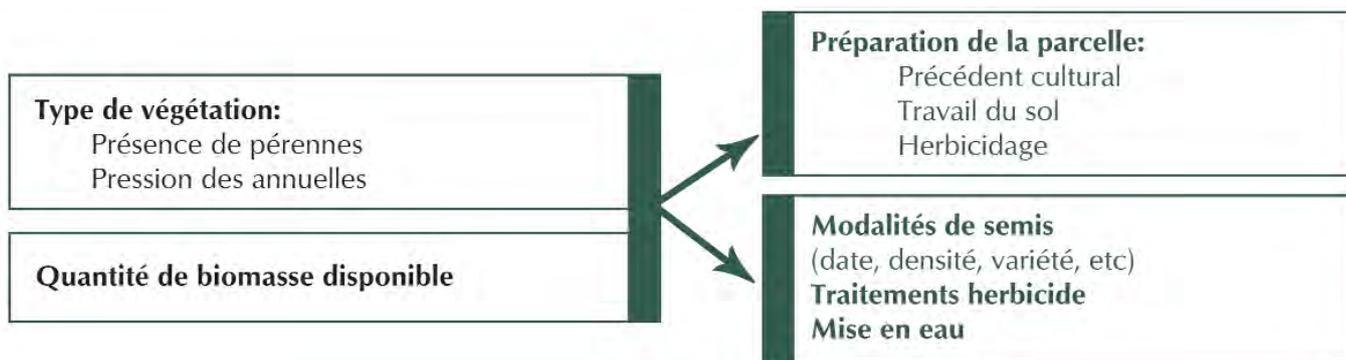
Forte infestation d'*Ischaemum rugosum* en rizière
Photo K. Naudin

Exemples de l'influence de la végétation

La présence de plantes vivaces, comme le *Cynodon dactylon*, rend nécessaire l'utilisation d'un herbicide total, même en cas de travail du sol. Lorsqu'elles sont bien développées, ces plantes vivaces sont souvent indicatrices d'un sol bien restructuré (sous l'effet de leur système racinaire puissant), qui peut être mis en culture directement sans travail du sol.

La mise en place des cultures à travers un paillage épais, constitué de plantes de couverture qui excluent les autres espèces, permet une bonne maîtrise des adventices sans autre mesure particulière de contrôle. Quand la plante de couverture utilisée peut être contrôlée mécaniquement (comme le *Stylosanthes guianensis*), les systèmes permettent une maîtrise des adventices sans herbicide, avec des temps de travaux réduits à la préparation de la couverture végétale.

La présence dans les environs d'une forte biomasse disponible (jachères non brûlées) peut permettre un paillage de la parcelle en année "zéro" ou un écobuage.



Le choix des itinéraires techniques

Les facteurs à prendre en compte

La battance, l'induration et la compaction

La battance des sols, l'induration en surface et la compaction en profondeur

Des sols riches en particules fines, mais non colloïdales, ont tendance, sous l'impact de la pluie, à former une fine croûte en surface (dite "croûte de battance"). Par ailleurs, des sols très destructurés (en particulier après un travail du sol avec émottage fin) peuvent, après des fortes pluies, s'indurer en surface sur plusieurs centimètres. Dans un cas comme dans l'autre, il en résulte une induration en surface, créant une couche imperméable et très asphyxiante.

Les phénomènes de battance et d'induration en surface déterminent avant tout les besoins en travail du sol. Au contraire de la compaction (en profondeur) qui est un état relativement stable ou qui évolue lentement, la battance ou l'induration en surface créent un état qui évolue rapidement et conduit à l'asphyxie des cultures. Des sols (non battants) qui paraissent très indurés en surface durant la saison sèche peuvent évoluer très rapidement avec les premières pluies et perdre leur caractère induré avant le semis. Inversement, un sol travaillé avant le semis peut rapidement s'indurer avec les premières pluies. Il est donc important d'évaluer le niveau d'induration des sols que l'on a au moment du semis pour décider si le travail du sol est nécessaire ou non. Le maintien d'une couverture végétale sur la parcelle permet de contrôler ces phénomènes qui disparaissent donc rapidement en semis direct.

En ce qui concerne la compaction en profondeur, elle peut éventuellement être levée par un sous-solage. Une telle pratique nécessite cependant des moyens considérables (tracteur puissant ou bulldozer, sous-soleuse, très rares à Madagascar), et est très coûteuse. Il est préférable de lever cette contrainte en choisissant des systèmes qui incluent en priorité des plantes capables de décompacter naturellement les sols, par la puissance de leur système racinaire et leur faculté à relancer l'activité biologique.

Exemple sur la battance

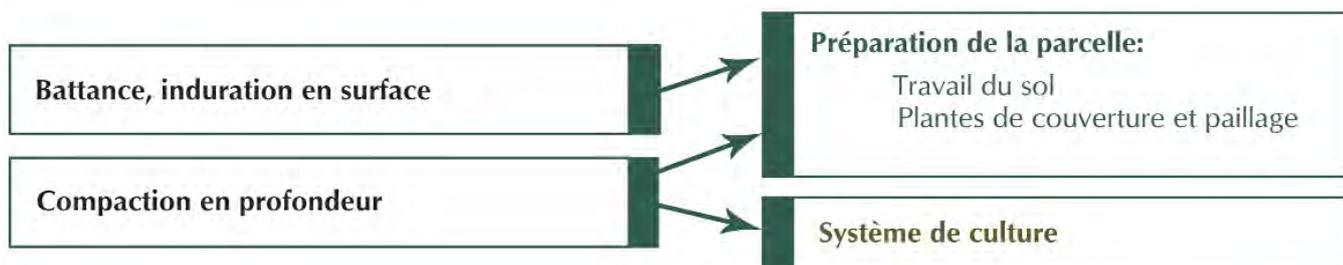
Les paysans du lac Alaotra connaissent bien le phénomène de battance, en particulier sur *bai-boho*. Ils savent que dans ces situations le travail du sol (grossier, de façon à ne pas le destructurer) est indispensable, et cherchent à casser la croûte de battance en permanence. Ils effectuent un travail du sol avant semis (au minimum, par un travail du sol au niveau des poquets pour les cultures de contre-saison après riz irrigué), et lors des sarclages.



Travail superficiel sur sol battant pour casser la croûte
Photo: K. Naudin

Exemple sur la compaction

La compaction du sol limite l'enracinement en profondeur des plantes, en particulier celles nécessitant une bonne macroporosité comme le riz pluvial. Outre l'impact sur la nutrition des plantes, un faible enracinement rend les cultures extrêmement sensibles à la sécheresse. Il est en conséquence risqué d'implanter du riz pluvial sur un sol compacté dans un milieu à saison des pluies courte, comme dans le Moyen-Ouest malgache.



Le choix des itinéraires techniques

Les facteurs à prendre en compte

Le niveau de fertilité du sol

Le niveau de fertilité du sol

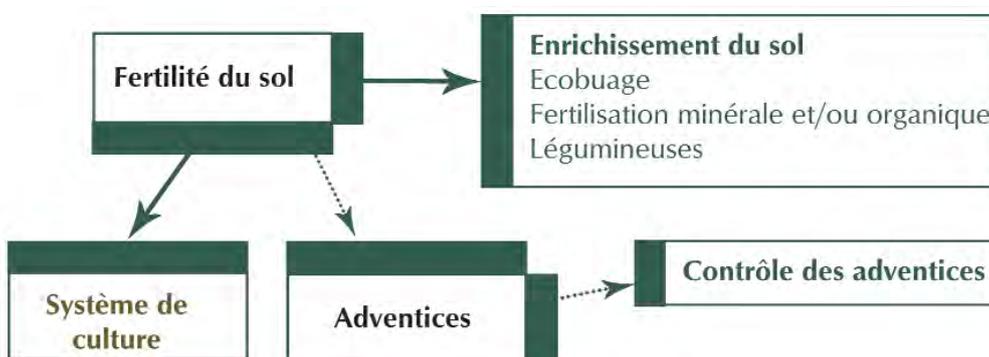
Le niveau de fertilité du sol a un impact direct sur les cultures possibles et les niveaux de fertilisation (y compris en oligo-éléments) à apporter (pour une culture donnée et un objectif de rendement donné). Il influence également de manière directe la densité de semis optimale.

Par son influence sur le type de flore et la pression des adventices, il influence indirectement les moyens à mettre en oeuvre pour le contrôle des mauvaises herbes.

Exemples de l'influence de la fertilité

Le riz et le maïs, qui sont des plantes exigeantes, ne peuvent pas être cultivés sur sols pauvres sans pratique permettant de remonter la fertilité : écobuage, biomasse importante à forte biodiversité fonctionnelle dont présence de légumineuse, fertilisation minérale, etc.

Sur les riches *baiboho* du lac Alaotra, la pression des adventices comme les cyperus est particulièrement forte. Elle compromet la culture du riz si des mesures efficaces de contrôle ne sont pas prises.



La pression des bioagresseurs

La pression des bioagresseurs

La pression des bioagresseurs (insectes terricoles et/ou foliaires, champignons, rats et limaces, etc.) peut rendre nécessaires des moyens de lutte particuliers (choix des systèmes, choix de variétés tolérantes ou résistantes, traitement de semences, traitements foliaires en végétation, utilisation d'entomopathogènes, mise en eau, etc.).

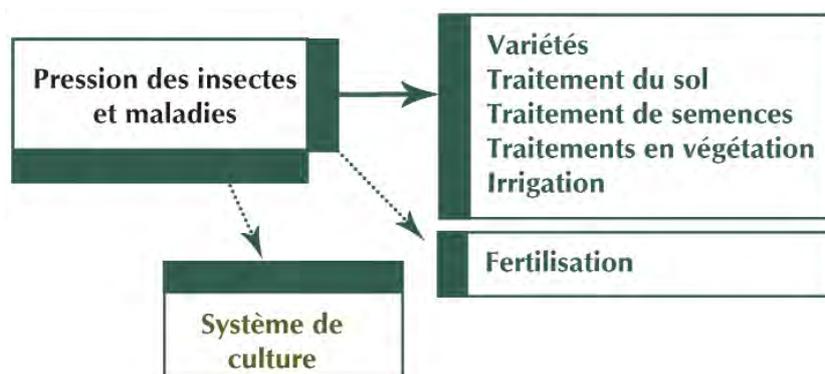
Indirectement, la pression des bioagresseurs influence le niveau d'intensification : l'apport d'engrais chimiques en particulier n'est rentable que si le contrôle des bioagresseurs peut être assuré convenablement.

Exemples de l'influence des insectes

La pression d'*Heteronychus sp.* est particulièrement forte dans les parcelles en bordure de plaines, en début de saison des pluies (quand les insectes fuient la montée des eaux des parcelles en aval). L'insertion dans les systèmes de radis fourrager ou de vesce permet de baisser fortement cette pression, tout comme l'utilisation d'entomopathogènes comme *Metarhizium anisopliae*.



Foreur de tige sur maïs
Photo : L. Séguy



Le choix des itinéraires techniques

Les objectifs de production

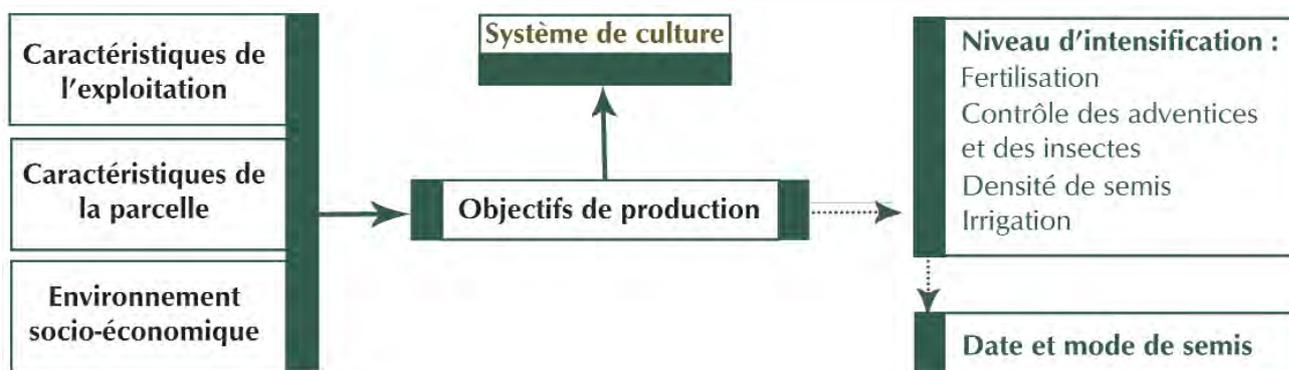
L'objectif de production (niveaux de production visés), et donc les systèmes de culture choisis et le niveau d'intensification souhaité, déterminent directement le niveau de fertilisation à apporter, les variétés, les densités de semis ainsi que les modes de contrôle des adventices et des insectes. Cet objectif de production est lui-même fonction de la situation de l'exploitant et donc de ses moyens, des caractéristiques de la parcelle, de la pression des adventices, des insectes et des pestes, mais aussi de l'intérêt qu'il y a à prendre le risque d'intensifier (niveau du risque, possibilités et conditions de commercialisation, etc.) et de la propension de l'exploitant à courir des risques.

Les facteurs à prendre en compte

Les objectifs de production

Exemples sur les objectifs de production

Au lac Alaotra, en réponse à la chute du prix du maïs (liée à l'augmentation de la production), les paysans ont réduit leurs objectifs de production (et en conséquence les apports d'intrants), sauf ceux qui étaient en mesure de valoriser le maïs par l'élevage de porcs.



Les opportunités de commercialisation et les bénéfices attendus

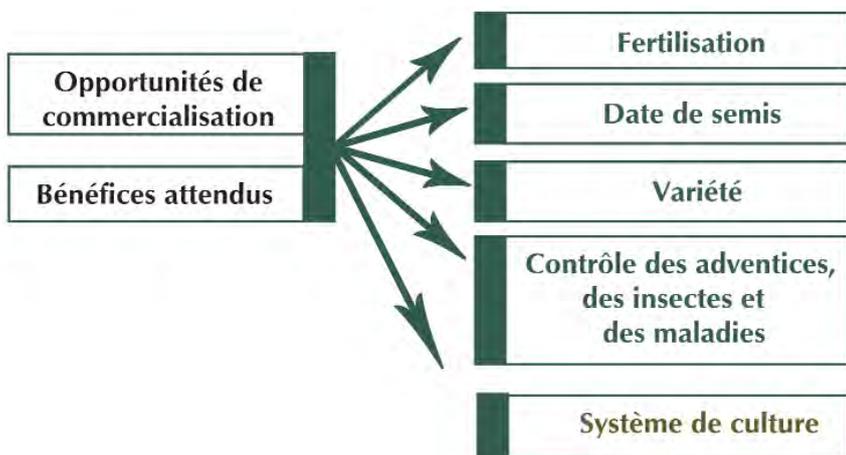
Les opportunités de commercialisation influencent le choix des systèmes de culture, mais aussi l'itinéraire technique. Il peut être extrêmement intéressant de décaler des cycles de cultures et/ou d'utiliser des variétés à cycle court pour permettre une production à une période (de soudure) où les prix de vente sont particulièrement intéressants (ou les besoins pour l'autoconsommation sont forts) et compensent largement une éventuelle baisse de production. De même, la production de semence (parfois en contre-saison) peut être une opportunité de recettes qui peut justifier d'un investissement important et de décaler les cycles de culture.

Les opportunités de commercialisation

Exemples sur les bénéfices attendus

Dans le Sud-Est malgache, le semis de riz pluvial de cycle court (type B22) dans les bas fonds permet une récolte dès le mois de janvier, en pleine soudure, quand les prix du riz sont très élevés.

Un métayer, qui doit donner une partie de sa récolte au propriétaire (souvent 30 à 50 %) ne retire qu'une partie du bénéfice d'un apport d'engrais (toujours risqué) et n'a intérêt à investir que si les gains de rendement espérés sont très importants. De même, l'achat d'intrants à crédit en abaisse les bénéfices, en particulier quand les taux sont élevés comme à Madagascar où le crédit sur une campagne "coûte" plus de 15 à 20 %.



Le choix des itinéraires techniques

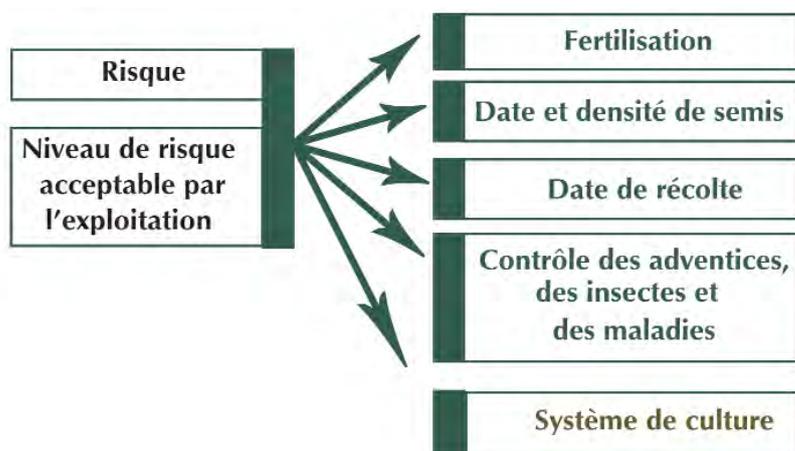
Les facteurs à prendre en compte

Les risques d'échec

Les risques d'échec et le niveau de risque acceptable

Les risques d'échec encourus et le niveau de risque supportable par l'exploitation sont des facteurs clés dans la prise de décision sur les systèmes de culture, le choix des niveaux d'intensification et des itinéraires techniques (calage des cycles et récolte en particulier). Ces risques peuvent être de tous ordres : climatique (sécheresse, grêle, cyclone, etc), phytosanitaire (attaques d'insectes incontrôlables, maladies fongiques, etc.), technique (non respect d'un itinéraire technique du fait de contraintes imprévues, etc), sécuritaire (vols), foncier, etc.

Les stratégies des paysans sont la plupart du temps basées sur la minimisation des risques, et ce d'autant plus que leur situation est précaire et que leur faculté à supporter un échec est faible. Pour les exploitations qui peuvent se permettre de prendre un risque, plus les espérances de gains sont élevées, plus le risque accepté est élevé.



Exemples sur le risque

Sur les hautes terres, les paysans plantent souvent le manioc à très forte densité (30 cm x 30 cm) et récoltent des petits tubercules dans le but d'augmenter le temps de récolte, ce qui rend moins attractifs et plus risqués les vols sur pied avant récolte, fréquents aux abords des villes.

Autour d'Antsirabe, certains paysans récoltent le riz avant sa maturité complète pour éviter les risques qu'un orage de grêle (fréquents à cette période) ou que les vols sur pied avant récolte ne leur fassent perdre une part importante de leur production.

Dans le Sud-Est où le risque cyclonique est important de janvier à avril, période de culture traditionnelle du riz dans les bas-fonds, il est possible de faire un riz de cycle court en conditions pluviales dès le mois de septembre, qui sera récolté avant la période cyclonique.

Au lac Alaotra et dans le moyen-Ouest où la saison des pluies est relativement courte, l'investissement dans des engrais est une prise de risque qui peut s'avérer très rentable, à condition de réaliser le semis dès les premières pluies (limitant ainsi fortement le risque climatique) et de contrôler les insectes terricoles et les adventices. Si le semis est tardif et que les insectes et les adventices ne sont pas maîtrisés, la prise de risque est trop importante et n'est pas recommandée.

L'accès aux intrants

L'accès aux intrants

Les possibilités d'accès aux intrants (disponibilité, coût et moyens d'achat) ont également un impact direct sur l'itinéraire technique (et le choix du système). L'accès aux engrais détermine directement les possibilités de fertilisation, l'accès aux herbicides influence directement les modes de préparation de la parcelle et de contrôle des adventives, et l'accès aux pesticides influence les possibilités de contrôle des bioagresseurs.

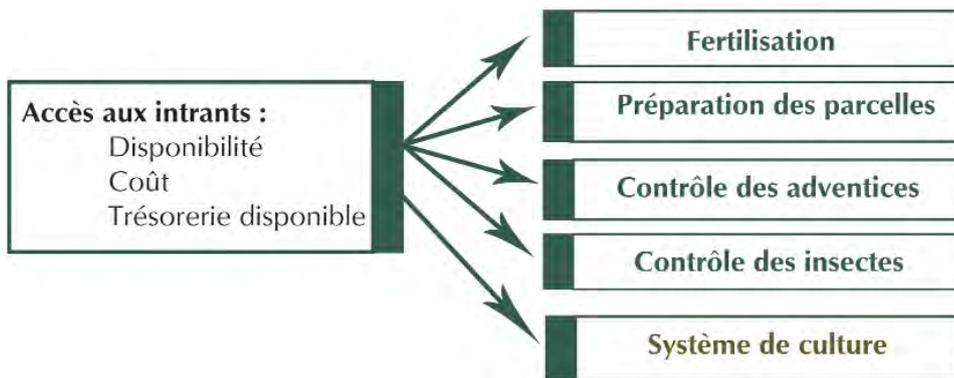
La nécessité d'avoir recours au crédit pour financer les investissements (engrais en particulier) fait baisser le bénéfice d'une éventuelle intensification et la rend moins attractive.

Exemples sur l'accès aux intrants

L'impossibilité d'avoir accès à de l'engrais pour cultiver du riz sur un sol pauvre rend nécessaire le recours à l'écobuage (ne demandant pas d'investissement financier si la main d'œuvre et la biomasse sont disponibles) pour cultiver du riz.

Dans tout Madagascar, l'accès à un herbicide total (type glyphosate) permet de cultiver (des légumineuses de préférence) en semis direct sur une couverture vivante de *Cynodon dactylon*, sans travail du sol et avec très peu de désherbage.

Le choix des itinéraires techniques



Les facteurs à prendre en compte

La force de travail et le matériel

La disponibilité de la force de travail et du matériel

La disponibilité de la force de travail aux périodes clés (préparation de la parcelle, semis, désherbage, récolte) détermine largement les pratiques culturales (mode et date de préparation des parcelles et de semis, mode de contrôle des adventices : semis à la volée plutôt que repiquage ou semis en lignes pour réduire le temps de travail au semis, semis en lignes ou en poquets ou utilisation d'herbicides pour réduire les temps de désherbage, etc.).

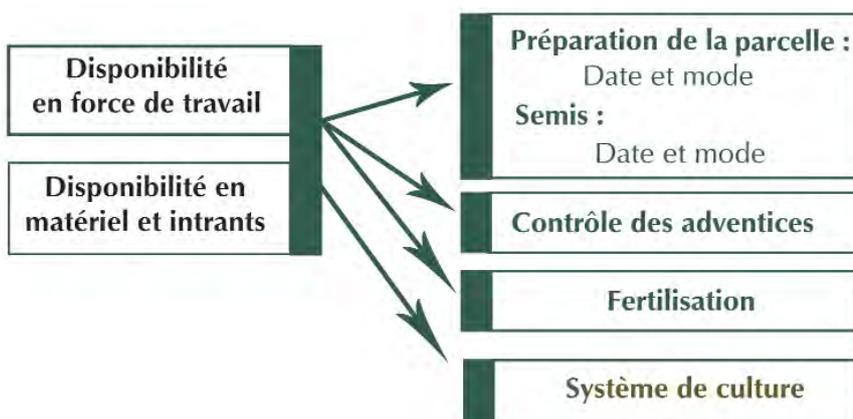
Indirectement, l'impossibilité d'assurer certaines tâches (préparation de la parcelle, désherbages) à temps, du fait d'un manque de force de travail (et/ou de moyens de financer de la main d'œuvre salariée) ou de matériel, influence le niveau de fertilisation à apporter, et même le choix des systèmes.

En cas de faible disponibilité en main d'œuvre (familiale ou salariée), du matériel adéquat peut permettre de réduire fortement les temps de travaux (semoirs, sarcleuses, rouleaux à cornières, etc.). Il en va de même pour l'utilisation d'intrants (herbicides en particulier) ou la mise en eau pour le contrôle des adventices, quand cela est possible.

Exemples sur la force de travail

Sur les hautes terres où les agriculteurs donnent la priorité aux rizières (qui assurent en général leur production en riz), le riz pluvial est souvent semé très tard (une fois la mise en place des rizières terminée). Le semis direct dans la paille peut se faire à sec, avant l'arrivée des premières pluies, et permet ainsi un démarrage très précoce des cultures pluviales, sans retarder la mise en place dans les rizières.

Dans le moyen Ouest, où les agriculteurs disposent de surfaces assez importantes (souvent 5 à 10 ha, en culture manuelle), la préparation d'un paillage de stylosanthes se fait en fin de saison sèche, à une période où la main d'œuvre est disponible. Elle réduit très fortement les travaux de désherbage et permet de maintenir des parcelles propres, malgré la faible disponibilité de la main d'œuvre durant la période de culture.



Interactions entre facteurs et opérations culturales

1.2. Interactions entre facteurs et opérations culturales. Choix des itinéraires techniques

Le choix des itinéraires techniques possibles pour un système donné se fait sur la base de ces différents facteurs en interactions. Certains facteurs ont une influence directe sur l'itinéraire technique (l'accès aux intrants par exemple), alors que d'autres ont un effet indirect (le climat par exemple, qui influence la flore adventice, et joue donc indirectement sur le mode de contrôle des adventices à mettre en œuvre). Certains facteurs peuvent être maîtrisés (l'apport de fertilisation par exemple pour remonter la fertilité d'une parcelle) alors que d'autres sont difficilement contrôlables (comme le climat). L'ajustement de l'itinéraire technique se fait sur la base d'une hiérarchisation des facteurs les plus importants pour chaque situation, en utilisant les facteurs maîtrisables pour s'adapter aux paramètres non contrôlés.

Le choix des itinéraires techniques

Les facteurs à prendre en compte

Interactions entre facteurs et opérations culturales

De manière générale, l'itinéraire technique doit permettre d'assurer un certain nombre de fonctions agronomiques la (ou les) première(s) année(s), le temps que ces fonctions soient assurées par les plantes multifonctionnelles et la forte activité biologique. Une fois les systèmes en SCV bien installés, l'itinéraire technique est plus simple. Les fonctions agronomiques sont alors assurées principalement par les plantes et l'activité biologique. Ainsi, même si les critères et règles de décisions sont les mêmes dans les deux cas, l'itinéraire technique est très différent entre la (ou les) première(s) année(s) de préparation des SCV, et les années suivantes, sur des systèmes SCV bien installés :



Restructuration du sol en profondeur par les racines d'éleusine

- la structure du sol est assurée par l'activité biologique dans des systèmes installés en SCV. Par contre, un travail mécanique du sol est souvent nécessaire l'année "zéro" de préparation des SCV ;
- la préparation de la parcelle en année "zéro" doit permettre le contrôle des adventices vivaces alors qu'une fois les systèmes SCV installés, elle se limite au contrôle de la couverture végétale ;
- le contrôle des adventices annuelles en année "zéro" exige un certain nombre de mesures associant différentes pratiques (labour, paillage, semis précoce, espèces et variétés capables de couvrir rapidement le sol, forte densité de semis, utilisation d'herbicides sélectifs des cultures ou d'herbicides totaux appliqués localement et/ou arrachages, etc.) alors qu'il est assuré avant tout par la couverture végétale dans des systèmes SCV installés, et ne demande plus qu'un travail minime. Dans tous les cas, le sarclage des parcelles est à éviter autant que possible car il perturbe le sol et repositionne les graines d'adventices dans de bonnes conditions pour leur germination. Cependant, dans certaines conditions de contraintes fortes pour le contrôle des adventices en année "zéro", le sarclage peut être la seule solution à la disposition des agriculteurs. Il doit alors être réalisé en essayant de limiter autant que possible la perturbation du sol.

- la fertilité doit être restaurée par différents moyens (fumure minérale ou organique, amendements, écobuage, "pompes biologiques", etc.) les premières années de préparation du semis direct, alors qu'elle est simplement gérée dans des systèmes SCV bien installés (compensation des exportations par les récoltes/fourrages) ;
- une fois qu'un équilibre écologique s'est instauré et que les plantes bénéficient d'une meilleure alimentation hydrique et en éléments nutritifs dans des systèmes SCV bien installés, les mesures de contrôle des bioagresseurs (et tout particulièrement les traitements phytosanitaires) sont moins nécessaires que durant les premières années.

L'itinéraire technique pour une parcelle donnée forme un tout, dont les différentes composantes (préparation de la parcelle, semis, application de produits phytosanitaires, fertilisation, récolte) sont liées, influençant et étant influencées par les autres composantes de l'itinéraire technique.

Même si l'agriculteur s'engage vers un itinéraire technique planifié à l'avance, la mise en œuvre sur un cycle de culture complet doit s'adapter en permanence pour faire face aux impondérables. Il doit permettre aux plantes cultivées de se développer dans les meilleures conditions possibles : accès à la lumière, à l'eau et aux éléments nutritifs, sans compétition des adventices ni attaques fortes d'insectes ou de maladies. L'itinéraire technique doit ainsi être ajusté régulièrement, ce qui demande un suivi précautionneux et une forte réactivité.

Chaque étape de l'itinéraire technique offre plusieurs possibilités et doit être ajustée en fonction :

- de l'itinéraire technique global ; et
- de l'état de la parcelle et des cultures après la réalisation effective des étapes précédentes.

Le choix des itinéraires techniques

2. La préparation des parcelles avant semis

La préparation des parcelles a pour objectif de permettre un semis dans des conditions optimales, pour une bonne germination et une bonne croissance des jeunes plantes. C'est en particulier une étape clef dans la lutte contre les mauvaises herbes qui doit permettre une installation dans des parcelles "propres", exemptes d'adventices en végétation.

La fertilité du sol (et les moyens de l'améliorer), les cultures choisies et les objectifs de production peuvent amener à faire un écobuage, qui permet de remonter la fertilité et tient lieu de préparation de la parcelle (avec un travail du sol localisé mais profond et qui lève en partie une éventuelle compaction du sol en profondeur).

En l'absence d'écobuage la préparation de la parcelle peut nécessiter (ou non) un travail du sol en année "zéro" de préparation des SCV.

Dans des systèmes SCV installés, le travail du sol doit être évité à tout prix car il fait rapidement perdre les améliorations obtenues par la pratique du semis direct. La préparation de la parcelle se limite alors au contrôle de la couverture végétale.

Dans tous les cas, le premier facteur qui détermine les possibilités et les besoins pour la préparation de la parcelle est la quantité de biomasse disponible, qu'on peut estimer visuellement.

La préparation des parcelles

La préparation des parcelles : l'écobuage

La pratique de l'écobuage est une alternative intéressante pour cultiver des plantes exigeantes sur un sol pauvre, ou pour atteindre des objectifs de production élevés en minimisant les intrants chimiques, à condition que main d'œuvre et biomasse soient disponibles.

La préparation des parcelles : la biomasse disponible

Biomasse disponible importante :

Pas de travail du sol : contrôle de la couverture végétale par utilisation d'herbicide, décapage à l'*angady*, fauche, passage d'un rouleau à cornières ou gyrobroyage.

La production de biomasse en bordure de parcelle ou dans des parcelles voisines non cultivées permet d'importer facilement une forte biomasse et ainsi d'amorcer rapidement la "pompe" du semis direct, même sur des sols pauvres. Cette biomasse peut aussi être utilisée pour l'écobuage.

Biomasse disponible faible (en année "zéro" de préparation du semis direct) :

- travail du sol, pour réduire la pression des adventices ; ou
- contrôle de la couverture végétale par utilisation d'herbicide, décapage à l'*angady*, fauche, passage d'un rouleau ou gyrobroyage, pour un semis direct de cultures permettant un contrôle facile des adventices. Prévoir un contrôle des adventices en cours de végétation (herbicide de post-levée, arrachage manuel, mise en eau, etc.).

Les seuils : En dessous de 5 t/ha de matière sèche (environ 5 fois plus en matière verte), la couverture du sol est souvent insuffisante pour un bon contrôle des adventices. A partir de 7 t/ha de matière sèche la couverture du sol est en général suffisante pour une bonne maîtrise des adventices (sauf si la couverture est faite à partir de céréales à grosses tiges uniquement, comme maïs ou sorgho). Ce contrôle des adventices tout au long du cycle de culture dépend cependant de nombreux paramètres :

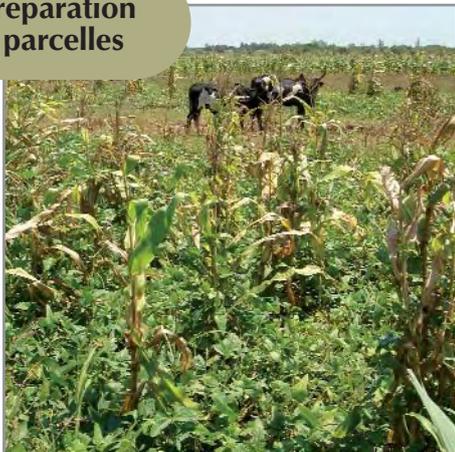
- la qualité de la biomasse et donc sa vitesse de décomposition : décomposition rapide pour un C/N bas comme des feuilles de mucuna, lente pour un C/N élevé comme des cannes de sorgho ;
- le type de paille et la structure du paillage : les pailles fines (*brachiaria*, *aristida*, etc.) couvrent mieux le sol mais se décomposent plus vite que les grosses pailles (tiges de sorgho ou maïs) ou que les paillages à structure feuilletée (*stylosanthes*, légumineuses à "lianes"), dans lesquelles le contact avec le sol se fait progressivement, feuillet par feuillet, ralentissant la décomposition ;
- le climat : la chaleur et l'humidité comme dans le Sud-Est accélèrent la décomposition de la couverture ;
- la vitesse de couverture du sol par la culture qui dépend du cycle et du port des plantes, de leur densité, de leur date de semis (par rapport au début des pluies qui déclenche la germination des adventices) et du niveau de fertilité de la parcelle : une culture qui couvre rapidement le sol comme l'association maïs + niébé contrôle les adventices levées à travers un paillage insuffisant, au contraire d'un riz de cycle long, semé à faible densité ;
- la pression des adventices et le type de flore : certaines plantes comme les oxalis, les centellas, les commelinas et les euphorbes étant capables de traverser un paillage épais.

Le choix des itinéraires techniques

Estimation de la biomasse (matière sèche) sur pied

Résidus de récolte (maïs + dolique)

La préparation
des parcelles



4-5 t/ha



7-8 t/ha



> 15 t/ha

Résidus de récolte (maïs, riz, avoine)



Maïs, 7 - 8 t/ha



Riz, 5-6 t/ha

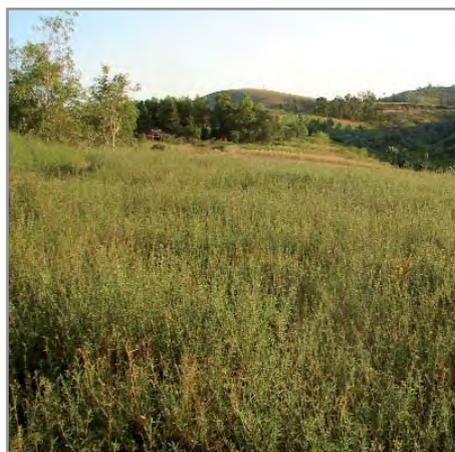


Avoine, 6-7 t/ha

Stylosanthes



< 2 t/ha



6-7 t/ha



> 12 t/ha

Le choix des itinéraires techniques

Estimation de la biomasse (matière sèche) au sol

(Photos: G. Soutou - K. Naudin)

Graminée herbacée (Andropogon)

La préparation
des parcelles



2 t/ha. Couverture du sol: 90%
Epaisseur: 1 cm



5 t/ha. Couverture du sol: 99%
Epaisseur: 3 cm



10 t/ha. Couverture du sol: 99%
Epaisseur: 6 cm

50 % graminée herbacée (Brachiaria) + 50 % Sorgho



2 t/ha. Couverture du sol: 60%
Epaisseur: <1 cm



5 t/ha. Couverture du sol: 80%
Epaisseur: 1 cm



10 t/ha. Couverture du sol: 99%
Epaisseur: 3 cm

Sorgho



2 t/ha. Couverture du sol: 20%



5 t/ha. Couverture du sol: 45%



10 t/ha. Couverture du sol: 70%

Le choix des itinéraires techniques

En année “zéro” de préparation du semis direct, la biomasse disponible sur des parcelles de petite agriculture familiale est souvent insuffisante pour permettre le semis direct. Il arrive également que l’année “zéro” ne permette pas de produire et de conserver suffisamment de biomasse pour un semis direct dans de bonnes conditions, avec un bon contrôle des adventices. Il est dans ces cas là recommandé de concentrer la biomasse disponible sur une partie de la parcelle qui sera conduite en semis direct (sur une couverture végétale suffisante), et de se considérer en année “zéro” sur le reste de la parcelle où la biomasse a été enlevée. Il faut dans tous les cas reconduire un système à très forte production de biomasse pour “amorcer la pompe” des SCV.

Il est également très intéressant d’essayer de produire une forte biomasse en bordure (haies vives, cordons anti-érosifs) ou à proximité des parcelles (jachères), ce qui permet de “recharger” en biomasse les parcelles qui ont eu une production insuffisante.

Le deuxième paramètre à prendre en compte est la présence, l’abondance et le type de plantes vivaces sur la parcelle. Ces critères déterminent les besoins en herbicides et l’utilité du travail du sol.

Une plante vivace déjà installée porte fortement concurrence à une plante annuelle (culture), même si elle a été fauchée ou labourée (en particulier les plantes à rhizomes que le labour peut aider à propager) :



Faible production des systèmes traditionnels sur sols dégradés.
Photo : L. Séguy

La préparation des parcelles

La préparation des parcelles: contrôle des plantes vivaces

Plantes vivaces abondantes :

- utilisation d’un herbicide total après reprise de la végétation ou en fin de saison des pluies précédente pour contrôler (systèmes sur couverture vivante utilisant des plantes vivaces comme le cynodon) ou tuer (systèmes sur couverture morte) les plantes vivaces ;

ou, sur des plantes érigées, faciles à contrôler :

- décapage à l’angady en début de saison sèche (très exigeant en temps et perturbant le sol) ;

ou à défaut, en l’absence d’herbicide :

- labour en début de saison sèche avec exposition des racines et rhizomes au soleil. Deuxième labour avant semis et arrachage manuel des plants encore vivants. La demande en travail est moindre que pour un décapage à l’angady, mais la perturbation du sol et les risques d’érosion sont plus forts ;

Plantes vivaces absentes, éparses ou faciles à contrôler manuellement :

- décapage à l’angady ; ou
- application localisée d’herbicide total.

Angady : sorte de bêche malgache

abondantes ou éparses. En revanche, des plantes rampantes et/ou produisant de nombreux rhizomes ou stolons sont difficiles à contrôler mécaniquement, et ce travail peut entraîner une perturbation considérable du sol.

En année “zéro” de préparation des SCV, sur les parcelles à faible biomasse, un autre paramètre important à prendre en compte est la battance ou l’induration en surface des sols.

- son redémarrage de végétation est en général plus rapide que celui de la plante annuelle par graine (en particulier pour les petites graines), ce qui fait que la plante vivace fait rapidement de l’ombre à la culture ;
- son système racinaire est souvent plus puissant et profond que celui de la plante annuelle et est déjà installé en profondeur, ce qui crée une compétition forte pour l’eau et les éléments nutritifs.

De plus, ces plantes vivaces sont rarement contrôlées par les herbicides sélectifs des cultures, et leur contrôle pendant la culture, même par sarclage, est difficile.

Il est donc indispensable d’éliminer les plantes vivaces avant l’installation de la culture, ou au moins de les contrôler le temps de la culture, comme dans le cas de cultures sur couverture vive.

Des plantes vivaces dressées, ne produisant pas ou peu de rhizomes peuvent être assez facilement contrôlées par un décapage à l’angady, et ce d’autant plus qu’elles sont peu

Le choix des itinéraires techniques

Dans le cas où le sol présente une telle surface indurée, il est indispensable de le travailler (grossièrement pour éviter une nouvelle induration). Les années suivantes le paillage maintenu au sol en SCV empêche tout phénomène d'induration ou de battance.

La compaction du sol en profondeur est un paramètre très important dans le choix des cultures, associations et successions à mettre en place (en privilégiant la (ou les) première(s) année(s) des plantes à fort pouvoir restructurant), mais influence peu le choix des itinéraires techniques, sauf :

- dans le cas où l'agriculteur prend le risque de mettre en place une culture sensible à la compaction sans travail du sol profond, auquel cas les intrants sont limités pour réduire la prise de risque (mais ce qui n'influence pas la préparation de la parcelle);
- dans le cas où il a été décidé d'effectuer un sous-solage (difficilement réalisable à Madagascar et dans tous les cas extrêmement coûteux) pour installer une culture à forte valeur économique, qui couvrira les coûts d'implantation.

La réalisation effective de la préparation des parcelles est fonction de ces choix d'itinéraire technique mais aussi :

- du climat et du régime hydrique de la parcelle qui influencent la date du travail du sol éventuel (année "zéro") ou de traitement herbicide des plantes en végétation;
- des moyens disponibles, en particulier la disponibilité en force de travail et l'accès au matériel et aux intrants (herbicides et engrais essentiellement);
- du type de couverture végétale à préparer.

La préparation des parcelles

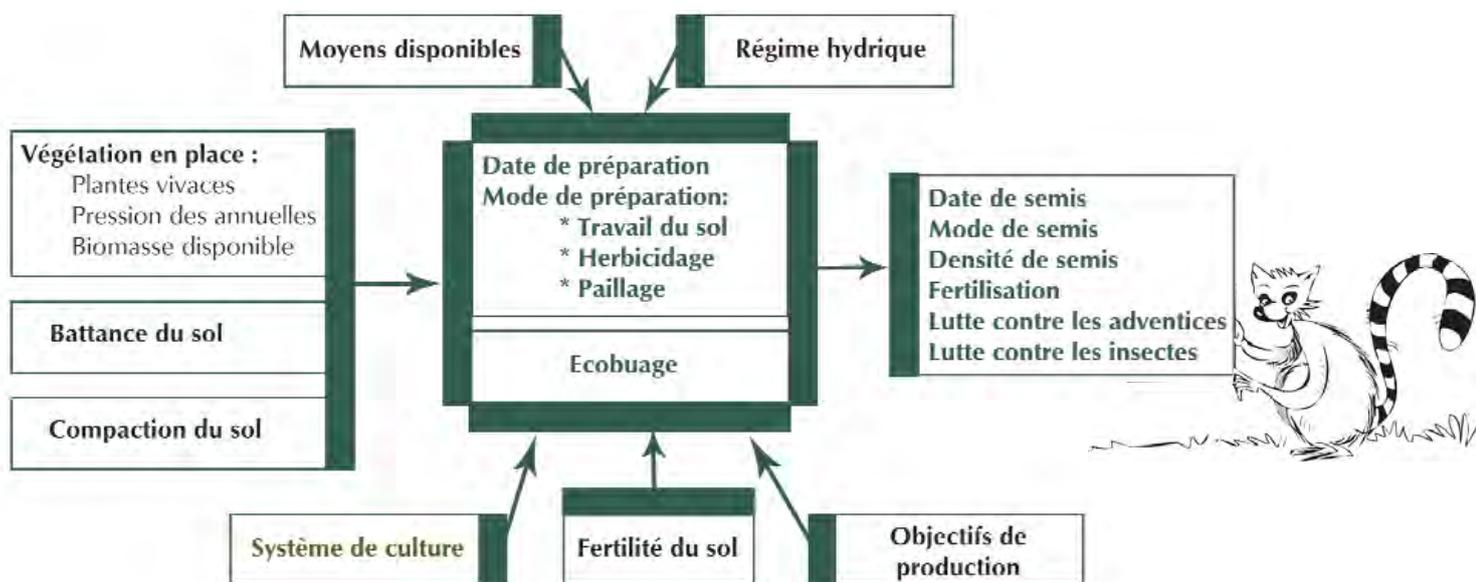
La préparation des parcelles: battance et compaction

Sols battants ou indurés en surface :

- travail du sol (grossier) nécessaire en année "zéro" ;
- paillage par la suite pour éviter la battance.

Sols compactés en profondeur :

- préférer des systèmes avec plantes tolérantes/restructurantes ;
- à défaut, travail du sol en profondeur ou écobuage.



La date de préparation de la parcelle doit permettre le semis dès les premières pluies utiles. En année "zéro", le travail du sol (si nécessaire) doit parfois être effectué en fin de cycle précédent (sols lourds, difficiles à travailler).

Les années suivantes, le contrôle de la couverture végétale doit se faire très tôt dans le cas d'une très forte biomasse, afin de lui laisser le temps de se tasser avant le semis. De même, il faut préparer plusieurs semaines en avance une biomasse à dominance de graminées (surtout à grosses tiges) dont la décomposition est lente et qui, si elle est traitée trop proche du

Le choix des itinéraires techniques

semis, risque fortement d'entraîner une "faim d'azote" sur les céréales cultivées ensuite.

A l'inverse, pour une biomasse faible, la préparation ne doit pas être faite trop tôt, afin de maintenir un maximum de biomasse pour couvrir le sol et contrôler les adventices en début de cycle. Quand la biomasse est dominée par des légumineuses dont les feuilles se décomposent rapidement, la préparation de la parcelle doit se faire juste avant le semis (et peut même se faire le jour du semis si on utilise des herbicides). La préparation de la parcelle a des répercussions sur de nombreuses opérations culturales par la suite: elle influence directement la date, le mode et la densité de semis, la fertilisation (effet de l'écobuage ou encore besoins en azote pour la culture de céréale sur un paillage de graminées), et le mode de lutte contre les adventices et les insectes (influences du paillage et de la date de semis en particulier).

Dans tous les cas, la préparation doit aboutir à une parcelle prête à être semée dans de bonnes conditions. Une vérification doit être effectuée avant de réaliser le semis.

La préparation des parcelles



La préparation des parcelles: vérification

Dans tous les cas, la préparation de la parcelle doit permettre d'installer les cultures sur des parcelles sans adventices en végétation au moment du semis (elles seraient alors en avance sur les cultures et donc très compétitives). Les plantes vivaces qui auraient pu repousser après leur traitement doivent être éliminées car elles sont très difficiles à contrôler dans des systèmes de semis direct installés sur couverture morte. Pour une utilisation en couverture vive, il faut s'assurer que leur contrôle est suffisant et homogène

Pour les plantes annuelles, on vérifie que de nouvelles plantes n'ont pas commencé leur croissance, en particulier quand la préparation de la parcelle a été effectuée longtemps avant le semis. Si nécessaire, un travail supplémentaire de contrôle juste avant (ou pendant) le semis doit être effectué: herbicidage, arrachage, décapage à l'angady ou éventuellement sarclage léger (en année "zéro").

Le choix de l'itinéraire technique: préparation des parcelles avant semis

1	Identification de la compaction du sol en profondeur et de la fertilité de la parcelle			
2	Choix des cultures, associations et successions (cf. Vol. II. Chapitre 1.), et des pratiques particulières			
	Sous-solage	Ecobuage	Préparation "normale" de la parcelle (sans écobuage ni sous-solage)	
3	Identification de la biomasse disponible et des plantes vivaces			
	Faible biomasse disponible (préparation des SCV)		Forte biomasse disponible	
4	Contrôle des plantes vivaces Page 26			
5	Travail du sol profond	Identification des risques de battance ou d'induration		Contrôle de la couverture végétale (en fonction du type de flore) Page 31
		Sol battant	Sol non battant	
6		Labour et émottage grossiers Page 29	Labour et émottage (année "zéro" uniquement) Page 29	
7	Paillage (recommandé) Page 30			

Le choix des itinéraires techniques

2.1. L'écobuage

Intérêts de l'écobuage

L'écobuage est une technique qui permet de libérer rapidement la fertilité "piégée" dans les sols, par combustion lente. Il est particulièrement efficace sur des sols où la matière organique évolue lentement du fait de l'acidité (très fréquente sur les sols malgaches), de la présence fréquente d'allophanes, de faibles températures (cas des hautes terres) et/ou d'hydromorphie (comme dans les rizières mal drainées ou dans le Sud-Est malgache).

Les principaux effets de l'écobuage sont :

- l'oxydation de la matière organique acide, piège des éléments nutritifs ;
- l'accélération de la minéralisation et la libération des éléments nutritifs, en particulier des bases : Ca, Mg, K ;
- la remontée du pH (gain possible d'une unité) ;
- la libération de grandes quantités de phosphore assimilable, qui était lié à la matière organique et fixé par l'aluminium (Al^{3+} , forme dominante à pH très bas) ;
- la réduction du stock d'adventices dans le sol brûlé ;
- un bon enracinement des plantes qui profitent du travail du sol en profondeur.

Les faibles températures (200 -300°C) de combustion "à l'étouffée" évitent les pertes d'éléments minéraux par volatilisation (N en particulier). L'activité biologique, détruite par le brûlis au niveau des tranchées est rapidement reconstituée et accrue (en quelques semaines), dans un environnement plus favorable.

La pratique de l'écobuage est une alternative très intéressante dans le cas de faible accès aux engrais (prix élevés, transport difficile, etc.), et d'une agriculture visant à minimiser les investissements financiers. Il ne demande pas de matériel particulier, et sa préparation se fait durant la saison sèche. Il n'exige un investissement financier que dans le cas de location de main d'œuvre ou si la biomasse doit être achetée ou transportée sur de longues distances (ce qui réduit fortement l'intérêt de cette pratique).

Son effet est marqué pendant plusieurs années et, associé à une fertilisation minérale, il permet d'obtenir de fortes productions (dans le cadre d'une agriculture intensive).

Cette pratique exige cependant un travail très important, un certain savoir-faire, et nécessite une forte biomasse à brûler. Ces contraintes peuvent en limiter l'application.

Précautions et limites de l'écobuage

L'écobuage brûle une partie de la matière organique du sol. Son effet est d'autant plus marqué que le niveau de matière organique du sol est élevé. Il ne faut surtout pas écobuer un sol à moins de 1,5 % de matière organique, ni écobuer deux ans de suite sur la même ligne.

Après écobuage, il faut pratiquer des systèmes de semis direct avec fort retour de biomasse pour reconstituer cette matière organique brûlée.

Réalisation de l'écobuage

Préparation de la biomasse à brûler

La préparation de la biomasse qui va être brûlée lors de l'écobuage représente un travail important, réalisé en sai-

La préparation
des parcelles
L'écobuage



Riz + niébé après écobuage

Le choix du type de biomasse

Le choix du type de biomasse se fait avant tout selon sa disponibilité.

La paille de riz quand elle est disponible est très intéressante par sa richesse en silice (qui confère résistance aux bioagresseurs, à la verse et à la sécheresse).

La balle de riz est également intéressante, encore plus riche en silice que les pailles. Elle est en général gratuite auprès des décortiqueuses, mais nécessite un transport qui peut être problématique (volume important). Elle ne peut être utilisée seule car elle ne permet pas une bonne circulation de l'air et a une combustion lente.

La végétation naturelle a l'avantage d'être facilement disponible. L'aristida a une combustion lente, et nécessite une grande quantité (ce qui nécessite la fauche de grandes surfaces, la production à l'hectare étant limitée).

Les arbustes comme le mimosa (*Acacia sp.*) ont une combustion rapide et apportent de l'azote.

Le choix des itinéraires techniques

La préparation des parcelles L'écobuage

son sèche. Plus la saison sèche est courte (comme dans le Sud-Est), plus ce travail doit être effectué rapidement.

Un écobuage "moyen" nécessite 30 à 40 t/ha de matière sèche, avec un minimum de 20 t/ha et jusqu'à 60 t/ha pour un écobuage très performant sur des sols riches en matière organique. La biomasse doit être fauchée, séchée (2 à 3 jours) puis transportée sur la parcelle à écobuer. Plus la distance de transport est élevée, plus le travail est important, ce qui rend particulièrement intéressant de produire la biomasse à l'avance sur la parcelle (plantation préalable d'arbustes comme les acacias) ou en bordure (Bana grass par exemple). Dans le cas de l'utilisation de paille de riz, ce travail est très réduit.

Contrôle des plantes vivaces

Dans le cas où l'écobuage se fait sur une parcelle où les plantes vivaces sont abondantes (jachère à *Cynodon dactylon* par exemple), il est nécessaire d'éliminer ces plantes avant de réaliser l'écobuage. Le contrôle de ces plantes après écobuage est très difficile puisqu'elles seront

alors recouvertes par la terre extraite des tranchées, et donc peu visibles et hors d'atteinte des herbicides. À l'inverse, le traitement herbicide en végétation de ces plantes vivaces facilite par la suite le travail de creusement des tranchées. En l'absence d'herbicide, le décapage à l'angady des plantes vivaces est possible, mais très laborieux (cf. page 26).

Creusement des tranchées

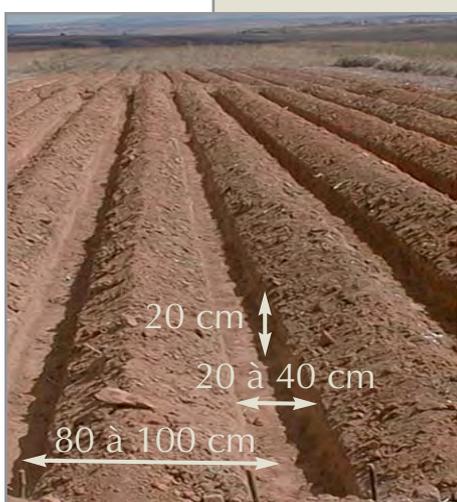
Les tranchées dans lesquelles l'écobuage localisé sera réalisé doivent être creusées de préférence perpendiculairement à la pente. En cas de risque de stagnation d'eau (qui peut engendrer des maladies), il faut prévoir des drains pour évacuer l'eau des tranchées, ou réaliser les tranchées dans le sens de la pente (sur pente faible). Dans les pentes fortes, l'écobuage peut être fait en réalisant des mini-terrasses, en marches d'escalier. L'espacement entre tranchées et la largeur des tranchées déterminent par la suite la densité de semis, les cultures étant semées sur le sol écobué dans ces tranchées.

La largeur des tranchées est de 20 cm à 40 cm. L'écobuage est meilleur sur des tranchées larges, mais la quantité de biomasse à utiliser est plus importante. Une tranchée large facilite aussi le semis en doubles rangs d'une culture comme le riz ou la pomme de terre par exemple. L'espacement entre tranchées (de centre à centre de la tranchée) est de 80 à 100 cm en fonction de la densité de semis souhaitée par la suite. La profondeur de la tranchée est de 20 cm, sauf dans le cas où l'horizon de surface organique est très peu épais. Dans ce cas, la profondeur de la tranchée est celle de l'épaisseur de cet horizon organique (sans creuser dans les horizons inférieurs, trop pauvres pour être écobués).

Ces tranchées peuvent être réalisées à l'angady, ce qui est exigeant en travail mais permet :

- de réaliser des tranchées rectilignes et régulières (facilitant le semis sur la tranchée) ;
- de mettre de côté la terre la plus organique pour recouvrir les tranchées, et donc d'assurer une très bonne qualité de l'écobuage.

Elles peuvent aussi être réalisées à la charrue en faisant un double passage dans le même sillon ce qui permet d'ouvrir un sillon large. Les tranchées sont ensuite terminées à l'angady, avec un travail très fortement réduit (mais des tranchées réalisées de façon moins précise).



Tranchées préparées pour l'écobuage
Photo : ANAE

Exemples sur les tranchées et la densité

Pour réaliser un écobuage pour la culture de maïs, en minimisant la biomasse utilisée, on peut réaliser des tranchées de 20 cm de large, suffisantes pour localiser facilement des simples rangs de maïs. En espaçant les tranchées de 1 m et en resserrant l'espacement sur la ligne à 40 cm, on obtient une densité de 25 000 plants/ha.

Pour une culture de pomme de terre qui valorise très bien la fertilité mais nécessite une densité élevée, des tranchées de 40 cm de large (permettant le semis en doubles rangs) espacées de 1 m (60 cm entre deux tranchées) permettent d'obtenir une densité de 40 000 à 45 000 plants/ha (en espaçant les plants de 45 à 50 cm sur le rang).

Le choix des itinéraires techniques

Remplissage des tranchées avec la biomasse (combustible)



Remplissage des tranchées avec le combustible et confection de cheminées
Photo : K. Naudin

Les tranchées sont ensuite remplies avec le combustible, en le tassant bien (avec le pied) et en remplissant les tranchées jusqu'à 10-15 cm au dessus du niveau initial du sol. Plus la biomasse apportée est importante, meilleures sont la combustion et l'efficacité de l'écobuage.

Les pailles (riz, *bozaka*, etc.) sont alignées dans le sens de la tranchée pour faciliter la propagation du feu et la circulation de l'air.

En cas d'utilisation de balle de riz ou de branchages qui transmettent moins bien le feu (et laissent moins bien circuler l'air pour les balles de riz), une couche de paille est préalablement installée au fond de la tranchée et une nouvelle couche est placée au dessus, ce qui facilite l'aé-

ration et la propagation du feu.

Des mèches de paille qui sortiront du sol après recouvrement des tranchées et formeront des cheminées sont installées tous les 1,5 m environ.

Recouvrement des tranchées avec de la terre

Les tranchées remplies de combustible sont ensuite recouvertes de 8 à 15 cm de terre, en prenant soin d'utiliser la terre de surface, organique (la plus foncée), et de laisser libres les cheminées d'aération en paille qui vont servir pour la mise à feu.

Avec la quantité de combustible apportée, l'épaisseur de terre apportée lors du recouvrement permet de réguler le "tirage", et donc la vitesse et l'intensité de la combustion.

Moins de 8 cm de terre conduisent à une combustion trop rapide, à des températures trop élevées (d'autant plus élevées que la quantité de combustible est importante). Plus de 15 cm rendent difficile la combustion (d'autant plus difficile que la quantité de biomasse apportée est faible), et entraînent un risque d'étouffement et de combustion incomplète.

Mise à feu et combustion

La mise à feu se fait par les mèches de paille. A partir de la mise à feu, la combustion est soigneusement contrôlée pour :

- éviter la propagation du feu aux parcelles ou à la jachère environnante ;
- s'assurer d'une bonne combustion de la totalité de la biomasse installée.

La combustion doit se faire intégralement, mais pas trop rapidement (24 à 48 heures, en fonction de la quantité appliquée, de l'épaisseur de terre qui la recouvre, de l'espacement entre cheminées et du type de biomasse), comme pour la préparation de charbon de bois.

En cas d'apparition de flammes (en dehors des cheminées), recouvrir avec un peu de terre (organique si possible). Si l'aération est mauvaise

La préparation des parcelles L'écobuage



Recouvrement des tranchées et confection des cheminées pour l'allumage
Photo : N. Moussa



Mise à feu et combustion
Aération à l'angady
Photo : N. Moussa



Parcelle après combustion
Photo : T. Raharison

Le choix des itinéraires techniques

La préparation des parcelles L'écobuage

et que le feu risque de s'éteindre, il est possible de soulever la paille et la terre en introduisant une *angady* par une cheminée et en faisant levier.

En cas d'arrêt de la combustion sans possibilité de rallumer par les cheminées (étouffement sous trop de terre, manque de combustible ou pluie) il est nécessaire de rouvrir les tranchées, faire sécher éventuellement le combustible et en rajouter si besoin, et de recommencer l'écobuage.

Un écobuage réussi se reconnaît à la couleur rouge brique du cylindre intérieur de sol écobué.

Variante: dans le cas de manque de paille et d'utilisation de branchages, il est possible de mettre le feu directement aux branchages déposés dans les tranchées puis de recouvrir de terre une fois la combustion bien démarrée (en prenant garde de ne pas allumer trop de branchages à la fois, pour pouvoir les recouvrir avant leur combustion complète).

Mise à plat et contrôle des adventices annuelles



Terre écobuée, de couleur rouge brique

Les temps de travaux moyens

Fauche de la biomasse nécessaire :

- 20 t/ha : 80 à 100 jours/ha
- 60 t/ha : 240 à 300 jours/ha

Transport de la biomasse (sur 500 m) :

- 20 t/ha : 80 à 100 jours/ha
- 60 t/ha : 240 à 300 jours/ha

Réalisation des tranchées pour l'écobuage :

- à l'*angady* : 60 à 80 jours/ha.
- à la charrue : 5 à 8 jours/ha

Remplissage des tranchées : 12 à 20 jours/ha

Recouvrement des tranchées : 6 à 10 jours/ha

Mise à feu : 5 à 6 jours/ha

Nivellement après brûlis : 4 à 5 jours/ha

Temps total de travail pour l'écobuage :

Préparation de la biomasse :

- 20 t/ha de biomasse : 160 à 200 jours/ha
- 60 t/ha de biomasse : 480 à 600 jours/ha

L'utilisation de paille de riz (déjà fauchée) ou de biomasse produite en bordure de parcelle réduit considérablement ces temps de travaux.

Réalisation de l'écobuage :

- à l'*angady* : 85 à 130 jours/ha
- à la charrue : 30 à 50 jours/ha

Temps total moyen :

(40 t/ha de biomasse, à l'*angady*) : 460 jours/ha.

Ce travail est réalisé en saison sèche (entre mai et octobre, la pluie ne permettant pas de sécher le combustible ni de réaliser l'écobuage). Un homme seul ne peut donc pas réaliser plus de 30 ares par année.

Après refroidissement (2 à 3 jours après la fin du brûlis), s'assurer qu'il ne reste pas de biomasse enterrée qui n'ait pas brûlé. De la matière végétale enfouie en condition anaérobie se dégrade mal et conduit à la production de composés toxiques. Il est donc indispensable de recommencer localement l'écobuage dans ces endroits. Du combustible non brûlé se repère par le fait que le sol sur la tranchée ne s'est pas affaissé, comme c'est le cas dans les endroits où la combustion a été complète.

Une fois la combustion totalement effectuée, il est nécessaire de combler les tranchées, qui sont alors en creux du fait de l'affaissement après la combustion de la biomasse. On remet ainsi à plat la parcelle, en prenant garde de bien repérer les lignes écobuées pour pouvoir y réaliser le semis. Ce travail de remise à plat permet également de contrôler les adventices annuelles (les vivaces ayant été contrôlées au préalable) qui auraient pu repousser entre les tranchées.

Si de la biomasse est encore disponible, le paillage des parcelles écobuées est très intéressant (contrôle des adventices, protection du sol, recharge en matière organique).



Pomme de terre après écobuage
Photo : N. Moussa

Le choix des itinéraires techniques

2.2. La préparation des parcelles avec faible biomasse disponible

L'année "zéro" de préparation du semis direct se fait souvent à partir de parcelles sur lesquelles la biomasse disponible est faible, en particulier dans le cadre d'une petite agriculture familiale peu intensive et de sols dégradés. S'il n'est pas possible d'importer de la biomasse (disponible à proximité) pour réaliser un paillage, le recours au labour est souvent préférable, en particulier pour faciliter le contrôle des adventices.

Il se peut aussi qu'un "échec" (accident climatique, mauvais itinéraire technique, exportation non contrôlée de la biomasse produite, etc.) sur des parcelles déjà conduites en semis direct fasse que la biomasse disponible est faible. Outre le moins bon fonctionnement des sols lié au manque de biomasse, le principal problème dans ce cas est celui du contrôle des adventices (essentiellement annuelles). Le retour au labour doit être évité autant que possible car il a l'inconvénient de fortement perturber le fonctionnement du sol (en particulier la dynamique de minéralisation) et les équilibres écologiques "reconstruits" par la pratique des SCV.



Couverture du sol insuffisante par les résidus de maïs à faible production

Dans ces situations où la biomasse n'est pas suffisante pour obtenir une bonne couverture du sol, la préparation de la parcelle dépend avant tout :

- de la présence ou non de plantes vivaces (qui doivent absolument être maîtrisées); et
- des risques d'induration du sol.

Dans tous les cas, la faible biomasse pour couvrir le sol fait qu'elle suffit rarement à contrôler les adventices annuelles. Si la pression des adventices est forte et/ou si la culture à installer est difficile à nettoyer (riz par exemple), des mesures de contrôle supplémentaires sont nécessaires (au semis et en cours de végétation).

La préparation des parcelles
Faible biomasse

Importation ou concentration de paille sur la parcelle

Quand la biomasse disponible sur la parcelle est faible, un apport de paille importée des environs, après préparation de la parcelle est souvent très intéressant. Cette biomasse peut être prélevée sur des jachères naturelles ou produite à l'avance en bordure des parcelles (plantation préalable de haies de pennisetum, cajanus, tephrosia, etc.). Il est préférable d'installer la paille avant le semis, bien qu'il soit aussi possible (mais plus long à réaliser) de "recharger" la parcelle en biomasse après la levée des cultures semées en lignes.

La quantité optimale dépend du climat (vitesse de minéralisation), du type de matériel végétal, de la pression des adventices et de la biomasse déjà présente sur la parcelle, et de la disponibilité de la biomasse et son accessibilité.

Dans le cas où la biomasse sur la parcelle est faible et si elle n'est pas accessible dans les environs, on peut concentrer la biomasse de la parcelle sur une partie de celle-ci, de manière à atteindre le seuil qui permet de conduire dans de bonnes conditions la culture en SCV. Le reste de la parcelle d'où a été retirée la végétation est alors reconduit comme une année "zéro", afin de produire une biomasse suffisante pour l'année suivante. Pour éviter de transporter la biomasse d'un bout à l'autre de la parcelle, il est aussi possible de concentrer la biomasse en bandes, en alternant bandes en semis direct (où la biomasse a été concentrée et sur lesquelles seront plantées les cultures principales, éventuellement en doubles rangs) et bandes labourées (qui recevront les plantes de couverture).

Plus la biomasse totale est importante, meilleurs sont les effets (amélioration du sol, contrôle des adventices) qui sont très significatifs à partir d'une biomasse totale de :

- 10-12 t/ha de matière sèche en milieu sec (Sud-Ouest malgache) ou en climat sub-tropical d'altitude (Hautes-terres)
- 12-15 t/ha à moyenne altitude (Lac Alaotra, Moyen-Ouest)
- 18-20 t/ha en milieu chaud et humide (Sud-Est).

Quand la biomasse produite n'a pas été suffisante en année "zéro" de préparation des SCV et qu'il n'est pas possible d'en importer ou de la concentrer, la meilleure solution est de faire l'année suivante un système à forte production de biomasse, en SCV, avec une culture facile à désherber et en ayant recours si nécessaire à un léger sarclage en cas de forte pression des adventices.

Le choix des itinéraires techniques

Le contrôle des plantes vivaces

La préparation des parcelles
Faible biomasse

Le contrôle des plantes vivaces

Le contrôle des plantes vivaces (quand elles sont présentes) est un préalable indispensable à la mise en place de systèmes conduits en semis direct sur couverture végétale permanente.

En fonction de la disponibilité de la main d'œuvre, de la disponibilité et du coût des herbicides, et de l'abondance, du stade de développement et des caractéristiques des adventices vivaces (et donc du travail nécessaire à les éliminer manuellement), on peut :



Cynodon dactylon, plante vivace à stolons et rhizomes

- avoir recours aux herbicides quand ils sont accessibles et que la main d'œuvre disponible n'est pas suffisante. Les plantes vivaces sont en général bien contrôlées avec du glyphosate à la dose de 1800 g/ha pour les graminées et du 2,4-D à la dose de 720-1080 g/ha pour les dicotylédones. On peut utiliser les deux produits en mélange quand les deux types de plantes sont présents. Si ces vivaces sont réparties en plaques, le traitement peut être localisé, ce qui réduit fortement la dose à l'hectare et donc le coût. Le recours à l'herbicide est particulièrement intéressant pour les plantes vivaces rampantes, avec rhizomes et/ou stolons (*Cynodon dactylon* en particulier qui se trouve dans différents milieux et dans toutes les écologies, ou *Panicum trichoides* et *Stenotaphrum secundatum* fréquents sur la côte Est), qui demandent un travail très important (avec perturbation forte du sol) pour un contrôle sans herbicide ;

- préférer un contrôle mécanique, par décapage (herbicides non accessibles, main d'œuvre disponible, vivaces peu abondantes). Pour les plantes vivaces érigées et/ou en touffes (telles *Aristida sp.*, *Hypparhenia sp.*, *Imperata cylindrica*, etc. que l'on trouve sur les *tanety*), le décapage à l'*angady* est en général suffisant s'il est réalisé en début de saison sèche. Le temps nécessaire à réaliser cette opération dépend avant tout de l'abondance des plantes

vivaces. Quand elles sont éparées, leur contrôle par décapage est souvent très intéressant alors qu'il l'est moins quand elles sont abondantes. Les plantes rampantes à stolons et/ou rhizomes sont beaucoup plus difficiles à contrôler mécaniquement et demandent un labour en début de saison sèche, puis un nouveau labour avant la mise en culture. L'utilisation d'un herbicide total (1800 g/ha de glyphosate) est souvent préférable quand ces plantes sont abondantes (et que l'herbicide est accessible).

Afin de ne pas retarder les semis, l'idéal est de traiter à l'herbicide les plantes vivaces en pleine végétation, à la fin de la saison des pluies précédente (faute de quoi il faudra attendre une reprise de croissance après les premières pluies, ce qui retarde le semis de plus d'un mois) ou de les décapier à l'*angady* en saison sèche.

Ces deux approches permettent un bon contrôle des plantes vivaces dans de très nombreuses situations. On peut cependant rencontrer des situations particulières qui demandent un traitement spécifique.

Rappels sur les herbicides

La dose d'herbicide à appliquer dépend :

- des espèces à traiter
- de l'abondance des plantes vivaces,
- de leur répartition : le traitement de plaques consomme moins d'herbicide par hectare que celui de plantes dispersées, et
- du stade des plantes au moment de l'application : une plante âgée est moins sensible qu'un jeune plant de quelques feuilles
- des conditions d'application : les fortes chaleurs réduisent la pénétration dans les plantes (qui ferment leurs stomates) et donc l'efficacité des herbicides, le glyphosate a une efficacité maximale à pH 4 et perd très fortement son efficacité en cas d'utilisation d'eau basique, etc.

Ainsi, les doses préconisées dans ce manuel sont des doses moyennes, correspondant aux doses nécessaires pour tuer ces plantes à un stade de végétation moyen, pour un niveau d'infestation moyen et régulier, et avec une application de l'herbicide dans les conditions recommandées (voir annexe I.1.).

Ces doses, qui sont toutes exprimées en quantité de matière active, doivent être ajustées en fonction des conditions d'application.

Le choix des itinéraires techniques

Le contrôle
des plantes
vivaces

La préparation
des parcelles
Faible biomasse

Cas particulier

Graminées pérennes des rizières

Certaines graminées des rizières comme *Leersia hexandra*, et surtout *Oryza longistaminata* (riz à rhizomes) posent de sérieux problèmes et exigent une préparation des parcelles particulière pour les contrôler.

- *Leersia hexandra*

Leersia hexandra est difficile à contrôler une fois la culture implantée. Il est recommandé de la tuer avant la mise en culture, par application de glyphosate (1 080 à 1 800 g/ha en fonction du stade végétatif). En l'absence d'un contrôle avant semis, la lutte contre cette adventice nécessite de nombreux et longs sarclages.

- *Oryza longistaminata*

Le riz à rhizomes est une espèce très proche du riz cultivé. Il est difficile de les distinguer au stade jeune, ce qui rend impossible un désherbage manuel. De plus, il n'existe pas (pour l'instant) d'herbicide sélectif du riz qui soit efficace sur ce riz sauvage.



Oryza longistaminata

La seule méthode de lutte efficace consiste à le tuer à l'aide d'un herbicide total à forte dose (glyphosate à 2 160 g/ha) et à un stade sensible : juste avant sa floraison. Cela peut se faire sur une parcelle abandonnée du fait de la forte infestation par le riz à rhizomes pour la préparer pour l'année suivante. Cela peut aussi se faire en tuant le riz à rhizomes localement sur les plaques où il apparaît dans des parcelles moins infestées. Cette pratique a cependant l'inconvénient de tuer également le riz cultivé, sauf si la variété utilisée (de cycle très court) a pu être récoltée (panicule par panicule) avant que le riz à rhizomes ne soit à la floraison, auquel cas on applique l'herbicide sur le riz à rhizomes dès récolte du riz.

La biomasse du riz à rhizomes est en général suffisante pour être utilisée comme couverture végétale pour le semis direct de la culture suivante (beaucoup plus belle sans labour), ce qui n'est pas le cas de *Leersia hexandra* ou des cypéracées vivaces.

Cas particulier

Cypéracées vivaces de rizières: *Cyperus rotundus* et *Cyperus esculentus*

Deux cypéracées vivaces sont particulièrement gênantes en rizières : *Cyperus rotundus* et *Cyperus esculentus* sont considérées au niveau mondial comme des pestes végétales.



Cyperus rotundus

Leurs organes de réserve leur permettent de survivre en saison sèche, de résister à de nombreux herbicides et de se multiplier rapidement, en particulier sous l'effet du labour qui fractionne les chaînettes de bulbilles et favorise la multiplication végétative.

Comme pour le riz à rhizomes, dans l'attente d'herbicides sélectifs performants, la meilleure façon de les contrôler est d'appliquer un herbicide total (glyphosate à 1 800 g/ha) en fin de saison des pluies pour préparer la culture de l'année suivante.

Il est aussi possible d'utiliser les propriétés de certains paillages en semis-direct : une couverture de sorgho (ou d'avoine), grâce à l'ombrage prolongé de la surface du sol conjugué à des effets allélopathiques (émissions de substances, véritables herbicides naturels), permet de contrôler en partie ces pestes végétales. Ainsi, un système de culture avec production de sorgho (non photopériodique) en saison sèche, utilisé comme paillage pour la campagne suivante peut être proposé.

Il est aussi possible de ralentir l'émergence du cypéris avec un épais paillage (maïs + dolique par exemple) puis de traiter les jeunes adventices dans le riz semé très dense, avec du bentazone (380 g/ha).

Le choix des itinéraires techniques

**Le contrôle
des plantes
vivaces**

**La préparation
des parcelles**
Faible biomasse

Cas particulier

Parcelles avec plantes vivaces à rhizomes, déjà labourées

Dans le cas particulier où l'on intervient sur une parcelle qui a été labourée en fin de saison des pluies/début de saison sèche précédente, sans qu'il y ait eu application d'herbicide préalable (pratique fréquente des paysans, pour essayer de contrôler ces plantes vivaces, en exposant racines et rhizomes au soleil en saison sèche), il faut s'assurer que ces plantes ont été bien contrôlées et que les rhizomes ne pourront pas produire de nouvelles plantes. Dans le cas contraire, il faut là aussi attendre la reprise de la végétation avant d'appliquer de l'herbicide (glyphosate à 1 800 g/ha) et de terminer la préparation du sol si nécessaire (nouveau labour et/ou émottage) une fois l'action de l'herbicide constatée.



Cynodon dactylon après labour

Jachères pérennes brûlées

La pratique du brûlis est fréquente à Madagascar. Pour la remise en culture d'une jachère à plantes vivaces qui a brûlé (intentionnellement ou par accident), se pose le double problème de contrôler les plantes vivaces avant semis puis de contrôler les adventices annuelles dans la culture, en l'absence de paillage.



Reprise des graminées vivaces après passage du feu

La plupart des plantes vivaces ne sont pas contrôlées par le passage du feu. La pratique du brûlis vise au contraire à favoriser leur reprise pour la production de jeunes feuilles en saison sèche, et permet de lever la dormance des graines de nombreuses espèces.

De plus, le passage du feu rend plus difficile le décapage à l'*angady* de ces plantes pérennes, moins facilement repérables et accessibles après brûlis. La meilleure solution consiste donc à attendre la reprise de la végétation (quelques semaines après brûlis ou en début de saison des pluies) pour appliquer un herbicide total (glyphosate à 1 800 g/ha).

Après semis direct (sans labour, mais sans couverture végétale qui a brûlé), le contrôle des adventices annuelles qui peuvent recoloniser rapidement ces parcelles se fait par application d'herbicide de prélevée (si la flore adventices est connue et exerce une forte pression) ou de post-levée (au cas par cas, en fonction de l'apparition de plantes annuelles).

Cas particulier

Exemples sur peu de résidus, sans vivaces

Dans une parcelle ayant produit du riz traditionnel, avec un rendement faible (1 t/ha), et présentant une flore adventice dominée par les dicotylédones annuelles, il est possible de semer directement du maïs (de préférence associé à une légumineuse pour augmenter la production de biomasse), après un simple traitement au 2,4-D quelques jours avant le semis (au moins 8 jours avant le semis d'une légumineuse) pour éliminer les repousses des jeunes dicotylédones. Par la suite, le contrôle des adventices peut nécessiter un nouveau traitement au 2,4-D sur les dicotylédones (sauf si le maïs est associé à une légumineuse) et l'arrachage d'éventuelles graminées.

Cas particulier

Parcelles très bosselées exploitées mécaniquement

Dans le cas particulier de grandes parcelles très bosselées que l'on souhaite exploiter en culture mécanisée, il est nécessaire de les labourer après traitement à l'herbicide afin de les niveler pour permettre le semis direct mécanisé les années suivantes.

Exemple sur peu de résidus, avec vivaces

Dans les rizières à mauvaise maîtrise de l'eau du lac Alaotra, le *Cynodon dactylon* envahit fréquemment les zones qui ne sont pas inondées suffisamment longtemps. La meilleure technique de lutte consiste à l'éradiquer par application de glyphosate (1 800 g/ha) en pleine végétation, de préférence en saison des pluies précédente, ou à défaut après reprise de végétation en début de saison des pluies.

Le choix des itinéraires techniques

Le travail des sols battants

La préparation des parcelles
Faible biomasse

Sur des parcelles à faible biomasse et sans plantes vivaces (soit parce qu'elles n'étaient pas présentes, soit parce qu'elles ont été éliminées par l'opération précédente), le choix de l'itinéraire technique se fait avant tout en fonction du risque de battance ou d'induration du sol.

Le travail du sol sur sols battants ou indurés en surface (en année "zéro")

Les sols battants sont généralement des sols argilo-sableux, limono-sableux ou sablo-argileux que l'on retrouve vers le bas de la toposéquence : sols exondés dans la plaine ou *baiboho*, sols ferrugineux tropicaux, etc.. Ils représentent la plupart des sols de rizières (à l'exception des sols organiques peu évolués). Les résidus de récolte y sont généralement peu abondants, une couverture végétale importante sur le sol tendant à supprimer ce phénomène de battance. Sur ces sols battants (ou en cas d'induration en surface), un travail du sol est nécessaire après contrôle des vivaces, afin de briser la croûte asphyxiante en surface.

Sur les sols lourds, difficiles à travailler, le travail du sol doit être effectué de préférence en fin de saison des pluies, ce qui permet ainsi de semer précocement sans avoir à attendre suffisamment de pluies pour pouvoir travailler les sols en début de campagne. Sur les sols légers, plus faciles à travailler, le travail du sol peut se faire durant la saison sèche, là encore afin d'être prêts pour un semis précoce dès les premières pluies utiles (après un éventuel passage d'herbicide à faible dose sur les jeunes plantes qui auraient pu repousser durant la saison sèche).

Dans tous les cas, sur ces sols battants qui doivent absolument être travaillés avant semis, il est important de ne pas faire un émottage trop fin et de ne pas les pulvériser. Les déstructurer trop, favorise la formation de croûte de battance ou l'induration en surface sous l'action des pluies. Le travail du sol doit donc être un travail grossier : labour et émottage grossiers, ou passage d'outils à dents du style « canadien » sont non seulement amplement suffisants, mais aussi préférables à d'autres pratiques. Ce travail du sol contribue au contrôle des adventices annuelles avant le semis.

Pour l'installation d'une culture de contre-saison ou d'une plante de couverture sur un sol battant, il est possible de ne travailler que le poquet.

Le paillage de ces sols après travail du sol, si la biomasse est disponible à proximité, est particulièrement intéressant car il réduit très fortement la battance ou les risques d'induration.

Les options sur sols non battants

Sur les sols non battants (sols de *tanety* et sols organiques peu évolués en rizières), le travail du sol n'est pas indispensable. Dans les parcelles qui avaient des plantes vivaces, les opérations effectuées pour les contrôler ont en général fortement réduit le nombre (lors du décapage à l'*angady*) ou éliminé toutes les adventices annuelles (en cas d'utilisation d'herbicides). Seules les repousses (quand il y en a) sont à éliminer avant le semis. Dans les parcelles qui n'avaient pas de plantes vivaces, un contrôle facile et peu coûteux des adventices annuelles peut se faire avant semis par utilisation d'herbicide, ou à défaut par travail du sol.

En année "zéro" de préparation du semis direct le labour suivi d'un émottage est souvent la solution la plus simple, ne nécessitant pas d'herbicide et étant bien maîtrisée par les paysans. Il est aussi possible (et recommandé) de simplement contrôler les adventices annuelles comme dans des parcelles déjà installées en SCV, ce qui présente l'avantage de réduire le temps de travail et de s'habituer aux pratiques du semis direct.

Dans les parcelles déjà en SCV (à la suite d'un "accident" qui n'a pas permis de maintenir une biomasse suffisante au sol), le travail du sol doit être évité autant que possible car il fait perdre rapidement les bénéfices des années de conduite en SCV. La préparation de la parcelle se limite donc au contrôle des plantes annuelles en végétation, ce qui peut se faire par :

Exemples de préparation sur sols battants

Au lac Alaotra, sur des *baiboho* ayant produit du riz dont la paille a été exportée à la récolte, le phénomène de battance ne permet pas la mise en place d'une nouvelle culture sans travail du sol pour briser la croûte de battance.



Riz sur sol battant
Photo: K. Naudin

Les options sur sols non battants

Le choix des itinéraires techniques

La préparation des parcelles Faible biomasse

- application d'herbicides, à faible dose quelques jours avant le semis. Un mélange glyphosate (360 à 540 g/ha) + 2,4-D (360 à 720 g/ha), éventuellement localisé sur les parties infestées, est suffisant pour contrôler parfaitement la flore annuelle en végétation sans perturber le sol. Cette méthode est aussi la plus rapide, surtout si les repousses d'adventices sont nombreuses, mais elle nécessite des herbicides (coût, connaissance, problème de disponibilité des produits et du matériel de pulvérisation);
- fauche, passage d'un rouleau à cornières ou gyrobroyage si les plantes adventices sont à un stade avancé de développement (ces pratiques sont peu efficaces sur les plantules);
- arrachage manuel des plantules d'adventices quand elles sont peu nombreuses;
- en dernier recours, si aucune de ces méthodes n'est réalisable, par sarclage léger et localisé, plus rapide que l'arrachage manuel mais qui a l'inconvénient majeur de perturber le sol.

La "recharge" en biomasse par importation de paille est très recommandée (quand elle est disponible à proximité), pour couvrir le sol et limiter les repousses d'adventices annuelles.

Le paillage

Apport de paillage

Sur des parcelles en semis direct avec faible biomasse, ou après labour, un apport de paille limite l'érosion et permet de contrôler la plupart des mauvaises herbes, à condition qu'il soit suffisamment épais. Le paillage doit être effectué de préférence avant le semis, mais il peut

aussi être apporté après la levée de la culture (ce qui est plus délicat à réaliser, plus long et moins efficace).

Le type de paille employé détermine : la vitesse de dégradation de la couverture et donc la durée du maintien de celle-ci (pour le contrôle des mauvaises herbes) et les risques de blocage d'azote (pour les cultures de céréales) :

- les pailles à ratio C/N élevé (comme les tiges de sorgho ou de maïs) se décomposent lentement et donc restent plus longtemps, mais induisent un risque de blocage d'azote élevé en début de cycle;
- les feuilles de légumineuses (à ratio C/N bas) se décomposent très vite (ce qui peut poser problème pour le contrôle des adventices) mais restituent rapidement de l'azote aux cultures;
- les feuilles de graminées et les tiges de légumineuses se décomposent à une vitesse intermédiaire.



Apport de paille de bozaka et production de biomasse en bordure de parcelle
Photo : Rakotondramana

Cette technique, si elle est extrêmement simple et efficace, présente cependant deux contraintes majeures qui font qu'elle ne peut pas être proposée dans toutes les situations :

- elle ne peut se faire que si de la biomasse est disponible en quantité à proximité;
- elle nécessite des temps de travaux importants (d'autant plus importants que la biomasse doit être transportée sur de grandes distances), même si ce travail peut être effectué durant la saison sèche.

Le paillage ne peut donc pas être recommandé dans des zones où la paille est rare, comme les zones où l'élevage laitier est une source de revenus importante, et/ou les zones à forte pression sur le foncier.

Dans tous les cas, la production de biomasse en bordure de parcelle (cordons anti-érosifs ou haies vives, de plantes pérennes ou semi-pérennes comme le Bana grass ou le cajanus qui seront régulièrement fauchées) ou dans des parcelles voisines (jachères améliorées) peut permettre d'importer facilement et rapidement une forte biomasse dans les parcelles cultivées, et ainsi d'assurer une entrée rapide en semis direct.



Transport de paille
Photo : T. Raharison

Le choix des itinéraires techniques

2.3. Le contrôle d'une couverture végétale à partir d'une forte biomasse

Des pratiques SCV performantes permettent (et fonctionnent bien grâce à) une forte production de biomasse et sa restitution sur le sol. Pour l'entrée dans les systèmes SCV, une forte biomasse est obtenue après une année "zéro" de préparation des SCV qui associe (ou se font succéder) des cultures avec des plantes de couverture (annuelles ou pérennes) à forte production de biomasse. Il est également possible de démarrer directement en semis direct sur des jachères de plantes vivaces ou après des cultures intensives, à forte production de biomasse. Une fois installés, les systèmes SCV s'entretiennent en maintenant une forte production de biomasse, largement restituée au sol.

Cette forte biomasse disponible sur la parcelle, permet de traiter directement la couverture végétale pour un semis direct dans de bonnes conditions, sur des sols souvent bien structurés et non battants.

Le choix du mode de contrôle des couvertures végétales (mécanique ou par utilisation d'herbicide) se fait en fonction :

- des espèces (et parfois des variétés) dont dépendent les facilités de contrôle mécanique et chimique, et donc les possibilités et l'intérêt comparatif d'utiliser un mode de contrôle plutôt qu'un autre ;
- de leur stade végétatif qui influence les possibilités d'utilisation et l'efficacité des herbicides et du contrôle mécanique, et donc leur intérêt comparatif ;
- des moyens disponibles : accès aux herbicides et coût, disponibilité et coût de la force de travail, accès au matériel ;
- du type de couverture végétale que l'on souhaite : couverture morte ou couverture vive (difficile à conduire sans herbicide) ;
- des cultures que l'on veut mettre en place dans le cas des couvertures vives ; et
- du climat : durée de la saison sèche qui détermine les périodes d'activité végétative des plantes ; gel éventuel, qui affaiblit (et peut même tuer) les plantes.

En cas d'utilisation d'herbicide pour préparer la couverture végétale, les doses à employer dépendent :

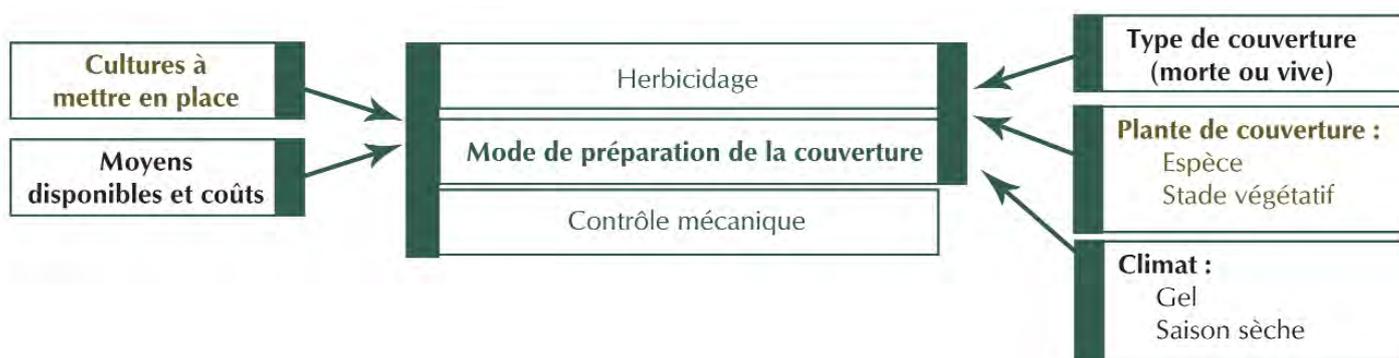
- de l'espèce (ou des espèces) à contrôler ;
- de leur stade végétatif ;
- des conditions d'application ;
- du type de couverture souhaité (morte ou vive).



Forte biomasse de vesce



Couverture épaisse de vesce après passage d'un rouleau à cornières



Le choix des itinéraires techniques

**Le contrôle
des plantes
vivaces
de jachères**

**La préparation
des parcelles
Forte biomasse**

Le contrôle des jachères à plantes vivaces (non brûlées)

Les plantes spontanées remplissent souvent un grand nombre des fonctions écosystémiques remplies par leurs "cousines" sélectionnées et peuvent souvent être utilisées comme couvertures végétales. Elles ont l'avantage d'être déjà installées, mais ont parfois des inconvénients pour leur gestion. Sous jachères pérennes, les sols sont souvent bien structurés de par l'action du système racinaire de ces plantes vivaces et de leur couverture du sol. De plus, la biomasse disponible y est souvent importante (si elle n'a pas été brûlée). Le semis direct de cultures est possible dès la première année d'intervention, sans avoir besoin d'une année "zéro" de préparation. L'itinéraire technique à adopter dépend avant tout des espèces à maîtriser. Dans de nombreux cas, le moyen le plus efficace de contrôler ces plantes vivaces est l'application d'herbicides totaux, à des doses relativement élevées.

Plusieurs cas de figure se présentent cependant :

Les dicotylédones vivaces et les graminées vivaces érigées (sur *tanety* essentiellement)

Ces plantes peuvent être utilisées pour préparer une couverture morte uniquement. Elles peuvent être contrôlées mécaniquement sans demander un travail trop important lorsqu'elles sont peu nombreuses, ce qui est en général le cas des dicotylédones pérennes avec racine pivotante (*Sida sp.*, *Urena lobata*, etc.) qui peuvent être tuées par un simple coup d'*angady* à la base. Les plantes annuelles qui peuvent cohabiter avec ces vivaces peuvent être contrôlées par simple fauche ou passage d'un rouleau à cornières, après décapage des vivaces.

Le 2,4-D amine à la dose de 1 080 g/ha permet également de contrôler la plupart de ces dicotylédones vivaces (ainsi que les annuelles), à très faible coût et avec peu de travail. Pour les dicotylédones arbustives (comme *Lantana camara* très répandu à Madagascar, mais de la même manière pour *Chromolaena odorata* très fréquent en Afrique et en Asie), la meilleure

solution consiste à les faucher, attendre leur reprise de végétation (environ 3 semaines, le temps que des tiges avec quelques feuilles larges se développent) puis d'appliquer du 2,4-D (1 080 à 1 440 g/ha).

Les graminées érigées (*aristida sp.*, *Hypparhenia sp.*, *Andropogon sp.*, *Cenchrus sp.*; *Imperata cylindrica*, *Brachiaria sp.*, etc) peuvent également être contrôlées par décapage (sous le sol) des racines à l'*angady*. Toutefois, elles sont souvent fort nombreuses et le travail exigé est très important. Dans un tel cas, le recours aux herbicides est fortement recommandé.

Ces plantes se contrôlent par application de glyphosate, à la dose de 1 800-2 160 g/ha si les plants sont âgés. Il est possible de baisser cette dose en fauchant la végétation en place et en appliquant le glyphosate à 1 080 g/ha sur les jeunes repousses de 2 à 3 semaines (ce qui a l'inconvénient de retarder le semis d'autant).

Exemples de contrôle sur jachère pérenne

Sur les hautes terres, les parcelles "envahies" de *Cynodon dactylon* bien développé permettent une forte production de haricot (ou de soja) après un simple traitement herbicide à faible dose (720 à 900 g/ha de glyphosate) qui permet de contrôler le chiendent sans le tuer. La couverture vive est ainsi maintenue et le système pérennisé.

Dans le Sud-Ouest, les jachères à *Hypparhenia sp.* ou *Andropogon sp.* bien développés permettent une forte production de coton en semis direct après traitement au glyphosate (1 800 à 2 160 g/ha, en pleine végétation).

Une espèce comme *Imperata cylindrica*, difficile à contrôler car très rhizomateuse, est d'autant mieux maîtrisée qu'on laisse sur place sa biomasse et qu'on l'utilise pour semer une plante volubile, couvrant rapidement le sol (comme la mucuna ou les vignas).

Sur un mélange de dicotylédones et de graminées, l'association glyphosate (1 080 g/ha environ) + 2,4-D (720 à 1 080 g/ha) peut être proposée, la dose de chaque herbicide variant en fonction de l'abondance des plantes vivaces de chaque type.

Les graminées vivaces rampantes ou de petite taille

Les graminées de ce type (comme *Cynodon dactylon*, présent sur *tanety* et en rizières exoncées dans toutes les zones écologiques, des petits brachiarias ou panicum, *Pennisetum clandestinum* ou encore *Stenotaphrum secundatum* en climat humide), sont extrêmement difficiles à contrôler sans utilisation d'herbicide. En effet, le labour (même en début de saison sèche) est souvent insuffisant pour les contrôler et, au contraire, peut parfois faciliter leur multiplication par fractionnement des rhizomes.

Le choix des itinéraires techniques

Ces graminées vivaces sont souvent dominantes et couvrent très bien le sol. Elles peuvent être utilisées comme couverture végétale après contrôle total (couverture morte), ou partiel (couverture vive).

- *Couverture morte à partir de graminées vivaces rampantes*

Pour préparer une couverture végétale morte, ces plantes sont tuées par application de glyphosate, à la dose de 1 800-2 160 g/ha. L'idéal est de les contrôler en pleine végétation, en fin de saison des pluies du cycle précédent, ce qui accroît l'efficacité du contrôle (d'autant plus que la plante doit alors résister à la saison sèche) et permet un semis précoce. Si ces plantes vivaces n'ont pas été contrôlées à l'avance, il faut attendre la reprise de la végétation après les premières pluies (15 jours à 3 semaines environ) pour appliquer l'herbicide sur des plantes en phase végétative. Le semis peut être fait une fois l'efficacité de l'application de l'herbicide constatée. Outre un risque de moins bon contrôle des vivaces, cet itinéraire technique a l'inconvénient de retarder les semis. Pour y remédier en partie, il est éventuellement possible de semer directement, immédiatement après application de l'herbicide. On court alors le risque de reprise de la plante vivace localement si des parties ont été mal traitées ou oubliées.

- *Couverture maintenue vivante à partir de graminées vivaces rampantes*

Ces plantes vivaces rampantes, qui protègent parfaitement le sol et maîtrisent la plupart des plantes adventices, peuvent être utilisées pour réaliser une couverture végétale maintenue vivante. Cela exige l'emploi d'herbicide pour les contrôler temporairement et permettre l'implantation et la croissance de la culture, sans les tuer afin qu'elles produisent une forte biomasse après la récolte de la culture.

Le *Cynodon dactylon* se prête très bien à cette pratique, permettant la production durable de légumineuses en assurant une couverture permanente du sol.

Le contrôle de ces plantes vivaces rampantes utilisées en couverture végétale vivante se fait par application d'herbicide à dose réduite : glyphosate (720 à 900 g/ha en fonction de sa vigueur et de son stade de développement), ou 1/2 à 2/3 des doses recommandées d'herbicides graminicides -fop (quand ils sont disponibles).

L'application homogène de l'herbicide doit être bien maîtrisée, afin d'éviter de tuer la plante aux endroits surdosés, et de ne pas assez la contrôler dans les zones sous-dosées.

Le contrôle de plantes de couverture vivaces installées

De nombreuses espèces utilisées comme plantes de couverture vivaces appartiennent au même genre et parfois à la même espèce que des plantes vivaces spontanées. Les plantes de couverture ont été sélectionnées pour maximiser les intérêts agronomiques (avec en premier lieu la production de biomasse, la sélection étant faite initialement par les éleveurs) et pour faciliter leur gestion.

Les plantes vivaces à rhizomes et stolons sont difficiles à contrôler mécaniquement, au contraire des plantes annuelles qui ne repartent pas si elles sont fauchées ou roulées après leur épiaison.

Ainsi, on peut utiliser en couverture végétale :

- les différentes variétés de brachiaria (en particulier *B. ruziziensis*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola* et *B. mutica*) sélectionnées à partir de plantes originaires d'Afrique de l'Est et du Sud pour en améliorer la production et les qualités fourragères, et qui ont été diffusées comme fourrages dans le monde entier ;

**Le contrôle
des plantes
vivaces
de jachères**

**La préparation
des parcelles
Forte biomasse**



Stenotaphrum secundatum après traitement herbicide (couverture morte)



Niébé sur couverture vive de chiendent

**Le contrôle
des plantes de
couverture
vivaces**

Le choix des itinéraires techniques

**Le contrôle
des plantes de
couverture
vivaces**

**La préparation
des parcelles
Forte biomasse**

- les variétés de Tifton (Tifton 68, 78 ou 85 pour les plus connues) qui sont des hybrides de *Cynodon dactylon*, sélectionnés pour leur plus forte production et leur meilleure qualité fourragère en particulier;
- *Cenchrus ciliaris* proche du *Cenchrus echinatus*, mais ayant une meilleure qualité fourragère et surtout plus facile d'utilisation car aux graines non épineuses;
- les différents *Pennisetum sp.*, en particulier ceux issus du *Pennisetum purpureum* (Elephant grass) et ses hybrides (en particulier avec le *Pennisetum glaucum* comme le Bana grass, et le Capim elefante carajas), et le *Pennisetum clandestinum* (Kikuyu grass);
- *Andropogon gayanus*, les ray grass, etc.

et diverses légumineuses, avec en particulier :

- *Stylosanthes guianensis* cv *CIAT 184*, relativement résistant à l'antracnose, maladie fongique qui avait pratiquement éradiqué cette espèce fourragère très intéressante dans les années 1970;
- *Desmodium sp.*, *Centrosema sp.*, etc.

Le contrôle d'une couverture végétale de graminées vivaces

Le contrôle total d'une couverture végétale (couverture morte) de graminées ayant produit une forte biomasse se fait de façon optimale 3 à 6 semaines avant la date de mise en culture prévue. Le contrôle en avance présente les avantages :

- de pouvoir s'assurer du bon contrôle de ces plantes vivaces;
- de permettre au mulch ainsi créé de se tasser, ce qui facilite le semis (qui peut être très délicat sur une forte biomasse fraîchement contrôlée);
- d'amorcer les processus de décomposition de la biomasse et en particulier de réduire le risque de blocage d'azote qui peut être très préjudiciable aux cultures, surtout aux céréales cultivées sur un paillage de graminées (dans un premier temps, les bactéries intervenant dans les processus de décomposition et de minéralisation consomment de l'azote, avant d'en libérer en quantité);
- de permettre aux cultures d'émerger rapidement de la couverture, ce qui évite l'étiollement des plantules et les attaques de champignons.

Toutefois, le climat et les cycles végétatifs ne permettent pas toujours de préparer la couverture à cette période optimale. Dans les climats avec saison sèche, il est souvent préférable de contrôler la couverture végétale en fin de saison des pluies précédente, quand elle est en pleine végétation et que l'efficacité des herbicides systémiques employés est bonne. On s'assurera simplement avant le semis que le contrôle des vivaces a été bon, et que les parcelles sont restées propres (ce qui est en général le cas quand la biomasse est importante). On fera si nécessaire un petit nettoyage par arrachage si les adventices sont en faible quantité ou application d'herbicides à faible dose (540 g/ha de glyphosate et 360 à 720 g/ha de

Exemples sur le choix du mode de contrôle

Au lac Alaotra, le contrôle d'une couverture morte à partir de *Brachiaria ruziziensis* peut se faire :

- par application d'herbicide en fin de saison des pluies précédente, si l'herbicide est disponible,
- par décapage à l'*angady* en saison sèche, si l'herbicide n'est pas accessible ou qu'il n'a pas été appliqué à temps et que l'on souhaite mettre en place une culture à cycle long qui ne supporte pas un semis tardif;
- par application d'herbicide en début de saison des pluies pour mettre en place une culture de cycle court (comme le haricot qui peut être semé relativement tardivement) ou une plante pérenne ou semi-pérenne qui traversera la saison sèche (comme le manioc).

Sur les hautes terres, le contrôle d'une couverture vive à partir de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) se fait de manière générale par application d'herbicide (comme la plupart des couvertures vives). Pour une plante comme le haricot, à cycle court et qui vit en synergie avec le kikuyu, il est possible de conduire la culture sur couverture vive sans herbicide, par fauches (juste avant semis, puis de manière répétée pendant la culture). Le travail considérable que représente la fauche de la couverture dans la culture peut être rentabilisé par son utilisation comme fourrage pour l'alimentation des vaches laitières, qui fournissent des revenus très intéressants. Cette pratique n'est cependant pas possible pour une culture comme la pomme de terre qui demande un meilleur contrôle du kikuyu que le haricot.

Dans les zones gélives d'altitude, le contrôle des plantes pérennes est facilité par le gel qui permet de baisser fortement les doses d'herbicide nécessaires.

Le choix des itinéraires techniques

2,4-D) si les jeunes plantes sont assez abondantes. Dans ces climats, si la couverture n'a pas été préparée à l'avance, il faut attendre la reprise de la végétation après les premières pluies, ce qui retarde le semis et accroît le risque de blocage d'azote en début de cycle cultural.

- *Cynodon dactylon* cv Tifton

Les tiftons se contrôlent comme le *Cynodon dactylon* que l'on trouve dans les jachères pérennes: 1 800 à 2 160 g/ha de glyphosate pour une couverture morte, 720 à 900 g/ha de glyphosate ou 1/2 à 2/3 des doses recommandées d'herbicides graminicides -fop pour une couverture vive. Le Tifton 85 est particulièrement difficile à contrôler sans herbicide du fait de ses très gros rhizomes et de ses stolons au développement rapide. La maîtrise sans herbicide du Tifton 68, qui n'a pas de rhizomes, reste difficile et très exigeante en travail.

- *Brachiaria* sp.

Les différentes espèces de brachiaria sont utilisées pour produire une couverture végétale importante, utilisée en SCV pour réaliser des couvertures mortes. Elles ne permettent pas la culture sur couverture vive. Le mode de contrôle des brachiarias varie suivant les espèces :

Brachiaria ruziziensis est le plus facile à contrôler que ce soit par herbicide (de préférence) ou par action mécanique. Chimiquement, il est totalement maîtrisé avec 1 080 g/ha de glyphosate alors que les autres espèces (*B. Brizantha*, *B. decumbens*, *B. mutica* et surtout *B. humidicola*) sont plus résistants et nécessitent 1 800 à 2 160 g/ha de glyphosate pour un bon contrôle. Mécaniquement, le port en touffes et l'enracinement moins puissant que celui des autres brachiarias permettent d'envisager un contrôle par décapage à l'angady quand cela s'avère nécessaire (pas d'accès aux herbicides ou à des coûts très élevés, période de contrôle dépassée et par conséquent risque de faible efficacité de l'herbicide, etc.). *B. Brizantha* ou *B. decumbens* peuvent avoir un port en touffe qui rend possible le décapage à l'angady, mais au prix d'un travail très important (et d'une baisse des performances des systèmes SCV du fait de la perturbation du sol). *B. humidicola*, au système racinaire très puissant et avec nombreux rhizomes et stolons est difficile (mais possible) à maîtriser mécaniquement.

Enfin, *B. ruziziensis* est l'espèce supportant le moins bien le gel. Il peut être tué par des gelées en dessous de -3° C, auquel cas il n'est pas nécessaire de le traiter à l'herbicide : le semis peut être réalisé directement sans préparation particulière. En cas de gelées plus modérées (-1 à -2°C) les doses d'herbicide à apporter sont réduites (360 à 720 g/ha en fonction de son état). *B. brizantha* et surtout *B. decumbens* sont eux beaucoup plus résistants au gel.

- *Pennisetum clandestinum* (Kikuyu grass)

Le kikuyu est une plante utilisée essentiellement pour servir de couverture vive pour culture de légumineuses (haricot, soja). Son installation par boutures, relativement longue, fait qu'une utilisation en couverture morte est peu intéressante. Son contrôle avant semis se fait par simple fauche pour une gestion après semis à l'aide d'herbicide sélectif (propaquizafop à 50 g/ha ou fluazifop-P-butyl à 62,5 g/ha) ou par application de glyphosate à 720 g/ha ou moins, en fonction de sa vigueur et des possibilités de contrôle de la couverture vive durant la culture par application d'herbicides sélectifs). La première année après installation sur les hautes terres, le kikuyu est en général peu développé et la culture de légumineuse peut s'y faire directement sans traitement particulier avant semis.

Le contrôle des plantes de couverture vivaces

La préparation des parcelles Forte biomasse

Eviter la production de graine

Parmi toutes ces graminées pérennes, seul le kikuyu grass qui peut être contrôlé chimiquement (dans une culture de légumineuse) et qui a une installation lente ne risque pas de poser de problème en cas de reprise par graine. Toutes les autres graminées pérennes sont difficiles à contrôler chimiquement (surtout dans une culture de céréale) et il est important d'éviter de les laisser produire des graines pour ne pas qu'elles "infestent" les parcelles durant les cultures suivantes. On peut pour cela les faucher à la floraison ou les faire pâturer.



Kikuyu en saison froide

Le choix des itinéraires techniques

**Le contrôle
des plantes de
couverture
vivaces**

**La préparation
des parcelles
Forte biomasse**

- *Lolium multiflorum* (Ray grass italien)

Le Ray grass italien est une plante au cycle particulier, qui peut être annuelle ou bisannuelle voire même semi-pérenne. Une simple fauche ne permet pas en général de le contrôler. En rizière, où il est généralement utilisé en saison froide (étant exigeant en eau et résistant à l'engorgement, et très résistant au gel), son contrôle se fait avec 1 080 g/ha de glyphosate.

	Couverture morte	Couverture vive
<i>Cynodon dactylon</i> cv Tifton	Glyphosate 1 800 à 2 160 g/ha	Glyphosate 720 à 900 g/ha ou 1/2 à 2/3 des doses recommandées d'herbicides graminicides -fop
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	Glyphosate 1 800 à 2 160 g/ha ou décapage à l'angady	Difficile à maîtriser
<i>Brachiaria brizantha</i> , <i>B. decumbens</i> , <i>B. humidicola</i> , <i>B. mutica</i>	Glyphosate 1 800 à 2 160 g/ha	Difficile à maîtriser
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyu)	Peu intéressant	Fauche (puis propaquizafop ou fluazifop-P-butyl) ou glyphosate à 720 g/ha
<i>Lolium multiflorum</i> (Ray grass)	Glyphosate 1 080 g/ha	Difficile à maîtriser

Le contrôle d'une couverture végétale de légumineuses vivaces

La décomposition rapide des feuilles de légumineuses à forte teneur en azote fait que les risques de "faim d'azote" sont limités. Le contrôle de la couverture végétale peut se faire juste avant le semis, en particulier pour les espèces rampantes, dont la biomasse se tasse rapidement.

Les légumineuses rampantes pérennes (*Arachis pintoï* et *A. repens*, desmodium et trèfle) sont utilisées pour la préparation de couvertures vives uniquement, leur implantation lente, par boutures la plupart du temps, rendant leur utilisation en couverture morte peu intéressante.

Les légumineuses pérennes érigées (cajanus, crotalaire, stylosanthes) sont utilisées en couverture morte (qui peut se ressemer naturellement comme dans le cas du stylosanthes).

- *Arachis pintoï* ou *Arachis repens*

Le contrôle de la couverture se fait une à deux semaines avant la date de semis estimée. Un contrôle trop en avance est difficile car l'activité végétative des plantes est alors faible (et donc l'herbicide systémique moins efficace), et peu intéressante car le contrôle de la couverture ne se fait que pour une durée limitée, qu'il faut utiliser au mieux.



Contrôle de l'*Arachis pintoï* sur les lignes de semis du maïs

Leur contrôle est délicat et demande de l'expérience. La dose d'herbicide à utiliser varie de 360 à 1 080 g/ha de glyphosate en fonction de l'état végétatif des plantes : La dose faible à employer quand elles ont subi le gel ou une longue saison sèche doit être augmentée si la plante de couverture est au contraire bien développée et en pleine activité.

La difficulté réside dans l'ajustement de la dose à appliquer et la régularité de l'application, afin que la dose effectivement appliquée ne soit :

- ni trop forte, ce qui risquerait de tuer les plantes et conduirait à une faible biomasse pour la saison suivante (mais ne nécessiterait cependant pas une nouvelle implantation d'arachis, celle-ci repartant naturellement, mais lentement, par les graines dans le sol) ;
- ni trop faible ce qui entraînerait un risque de redémarrage trop rapide de la couverture et donc de compétition avec la culture, auquel cas, il faut appliquer un herbicide sélectif dans la culture, comme le triclopyr à 360 - 480 g/ha.

Le choix des itinéraires techniques

**Le contrôle
des plantes de
couverture
vivaces**

**La préparation
des parcelles
Forte biomasse**

Le traitement à l'herbicide se fait en plein pour l'installation de cultures à forte densité comme le riz. Il peut se faire en bandes sur lesquelles seront installées des cultures qui peuvent se conduire en lignes espacées, comme le maïs. La quantité d'herbicide appliquée et donc le coût sont alors fortement réduits et la gestion est plus facile.

On peut aussi utiliser (quand disponible) du diquat ou du paraquat en application localisée sur les lignes de culture, ou en application généralisée à faible dose (300 g/ha), ou encore une solution saline (KCl à 25% + vinaigre) pour un contrôle suffisant de l'arachis pendant les 30 premiers jours du cycle de culture.

Enfin, pour l'installation d'une culture de maïs sur couverture vive d'*Arachis sp.*, il est aussi possible d'utiliser l'atrazine à 1 000 - 1 250 g/ha.

- *Desmodium uncinatum*

En altitude (> 1500 m), *Desmodium uncinatum* peut être contrôlé naturellement par le gel, auquel cas aucun traitement n'est nécessaire avant semis.

En l'absence de gel, le desmodium peut être simplement fauché (et éventuellement utilisé pour l'alimentation animale), ce qui suffit en général pour le contrôler le temps que la culture se mette en place. Un contrôle par glyphosate à faible dose (180 g/ha) est également possible pour ceux qui ne disposent pas de la force de travail nécessaire pour la fauche, et/ou ne souhaitent pas nourrir d'animaux.

- *Trifolium repens*

Comme pour le desmodium, le trèfle blanc peut être suffisamment contrôlé par le gel en altitude, ou par une simple fauche.

Il peut aussi être contrôlé chimiquement à l'aide de 2,4-D (1 060 g/ha). En rizière, il peut également être contrôlé par inondation.

Enfin, un apport d'engrais azoté (urée) peut aussi suffire à le contrôler le temps que la culture (céréale de préférence) soit suffisamment développée pour ne plus craindre sa concurrence.

- *Cajanus cajan* ou *crotalaria sp.*

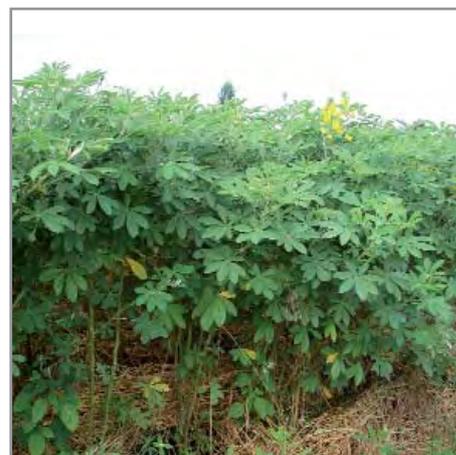
Plantes semi-pérennes, arbustives et ligneuses, les cajanus et les crotalaires se contrôlent facilement par fauche au ras du sol (d'un coup d'*angady* ou de coupe-coupe en culture manuelle). La biomasse ainsi coupée est simplement laissée sur la parcelle.

Précaution à prendre : une fois fauchées à la base, les tiges ligneuses peuvent être tranchantes. Le port de chaussures est recommandé pour le travail dans ces parcelles.

Il est aussi possible de contrôler les crotalaires par passage d'un rouleau à cornières, suffisamment lourd pour couper les tiges encore peu lignifiées.



Parcelle de maïs sur desmodium à la sortie de l'hiver



Forte biomasse de *Crotalaria grahamiana* après riz

	Couverture morte	Couverture vive
<i>Arachis pintoï</i> ou <i>A. repens</i>	Peu intéressant	Glyphosate 360 à 1 080 g/ha
<i>Desmodium uncinatum</i>	Peu intéressant	Gel, fauche ou 2,4-D à 1 060 g/ha
<i>Trifolium repens</i>	Peu intéressant	Gel, fauche ou 2,4-D à 1 060 g/ha
Cajanus ou crotalaire	Décapage à l' <i>angady</i>	Pas possible

Le choix des itinéraires techniques

Le contrôle du *Stylosanthes guianensis*

La préparation des parcelles Forte biomasse

- *Stylosanthes guianensis*

Le contrôle total du stylosanthes pour en faire une couverture morte doit se faire en fin de saison sèche, deux à dix semaines avant la date de semis estimée, d'autant plus tôt que la biomasse aérienne est importante. Le semis dans une très forte biomasse peut être délicat et il est facilité si cette biomasse a eu le temps de se tasser.

Contrôle manuel

Un des avantages du *Stylosanthes guianensis* pour les SCV en petite agriculture familiale est que, bien qu'étant une plante pérenne, il peut être totalement contrôlé par une simple fauche au ras du sol. Il suffit donc de le couper d'un coup d'angady en culture manuelle, ou par passage de gyrobroyeur ou d'outil à marteaux en culture mécanisée.

Les plants de stylosanthes sont ainsi tués pour réaliser une couverture végétale morte. On peut cependant pérenniser le système facilement en laissant simplement grainer le stylosanthes avant de le couper, ce qui permet à la plante de couverture de se réinstaller naturellement.

Dans le cas d'une biomasse "moyenne" (5 à 10 t/ha de matière sèche), le stylosanthes ainsi fauché peut être simplement laissé au sol, sans qu'il ne gêne la progression lors de la fauche.



Simple fauche au ras du sol sur biomasse moyenne. Sud-Est humide *Stylosanthes* vert toute l'année



Enroulement du *stylosanthes* pour la fauche des pieds sous forte biomasse

Pour les fortes biomasses (12 à 20 t/ha), l'épaisseur de la biomasse aérienne rend difficile l'accès aux pieds des plantes pour les couper manuellement.

Les nombreuses tiges ligneuses du *stylosanthes* font cependant que la couverture qu'elles forment est facile à manipuler. On

peut en particulier l'enrouler, ce qui permet de progresser en accédant aux pieds pour les couper.



Fauche du pied d'un coup sec d'angady
Photo : R. Michellon



En tirant ou repoussant la biomasse avec le manche des angady on peut facilement l'enrouler.

Enroulement de la couverture sur forte biomasse
Moyen-Ouest. *Stylosanthes* sec après 6 mois sans pluies
Photo : R. Michellon

Le choix des itinéraires techniques

**Le contrôle du
*Stylosanthes
guianensis***

**La préparation
des parcelles
Forte biomasse**



Enroulement de la couverture après fauche des pieds
Photo : R. Michellon

Les pieds de stylosanthes sont coupés au fur et à mesure de la progression de la couverture ainsi enroulée. On s'assure que tous les pieds ont bien été coupés.



Mise à plat d'une termitière
Photo : R. Michellon

Quand les rouleaux sont jugés trop lourds et difficiles à manipuler, la couverture est coupée en ligne à l'angady. Les bandes ainsi constituées font une dizaine de mètres.

Le sol est remis à plat sous la couverture si nécessaire, comme dans le cas du développement de termitières.

Le rouleau est ensuite déroulé et la couverture est remise en place pour recouvrir le sol. La progression reprend avec la confection d'un nou-



Coupe de la couverture sur une ligne quand le rouleau est difficile à manipuler
Photo : R. Michellon

veau rouleau et ainsi de suite.

La couverture végétale se tasse naturellement et permet un semis dans d'excellentes conditions un mois plus tard environ, sans autre traitement.

Une telle biomasse permet souvent le contrôle des adventices pendant deux saisons de culture (sauf en milieu tropical humide et chaud toute l'année).

Contrôle mécanique et chimique

Pour les grandes parcelles, le contrôle manuel est très exigeant en temps. Un contrôle mécanique et chimique est préférable. Ce contrôle se fait par roulage (ou piétinement) du stylosanthes quand sa biomasse est jugée suffisante. A sa reprise, lorsqu'il se redresse, on peut appliquer soit un mélange d'herbicide (540 à 1 080 g/ha de glyphosate + 1 080 g/ha de 2,4-D), soit une solution de KCl à 25 % avec du vinaigre (3 litres de vinaigre par 100 litres de solution). La dose de KCl à apporter par hectare est donc fonction de la quantité de solution utilisée (25 kg/ha pour une pulvérisation à 100 l/ha, mais 50 kg/ha pour une pulvérisation à 200 l/ha, la concentration du produit, et donc la pression osmotique engendrée, étant plus importante que la dose).



Remise en place de la couverture
Photo : R. Michellon

Le choix des itinéraires techniques

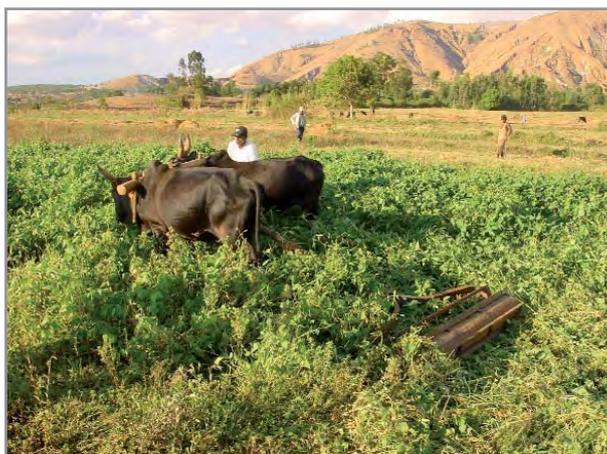
Le contrôle des plantes de couverture annuelles

La préparation des parcelles
Forte biomasse

Le contrôle de couvertures végétales à base de cultures de contre-saison ou de plantes de couverture annuelles en fin de cycle

Le choix des systèmes en SCV vise (entre autres) à optimiser la production de biomasse et à disposer d'une couverture végétale importante au moment de la mise en place de la culture principale. Outre l'utilisation de plantes de couverture vivaces, on peut :

- utiliser des plantes de couverture annuelles, capables de se développer en saison sèche et/ou froide. Ces plantes, installées en relais (semis dans la culture en fin de cycle) ou succession (semis après récolte de la culture) des cultures principales produisent une forte biomasse en contre-saison. Leur cycle est en général "calé" pour apporter une biomasse maximale (après la floraison) juste avant le semis de la culture suivante ;
- installer des cultures de contre-saison qui termineront leur cycle juste avant la remise en culture du cycle principal. Outre la production d'une culture rémunératrice, ces cultures de contre-saison (quand elles sont possibles) permettent "d'entretenir" les SCV par des apports réguliers de biomasse.



Contrôle de *Vigna umbellata* par passage de rouleau à cornières

De manière générale, les plantes vivaces sont absentes dans ces situations, ayant été contrôlées avant l'installation des plantes de couverture annuelles (les quelques plantes qui ont pu survivre peuvent être facilement décapées à l'*angady*). De plus, ces plantes annuelles ont en général supprimé de la parcelle les adventices annuelles (ou vivaces dans certains cas comme la vesce sur le cynodon) , par effet d'ombrage et/ou allélopathie.

Qu'il s'agisse de graminées comme l'avoine, le blé ou l'orge, de légumineuses comme la vesce, les vigne, la dolique ou les petits pois, ou de crucifères comme le radis

fouurrager, ces plantes annuelles se contrôlent facilement : elles meurent naturellement une fois les grains produits. La préparation de la parcelle se limite alors à vérifier que des adventices ne se soient pas développées (auquel cas une application d'herbicide à faible dose est nécessaire : 540 g/ha de glyphosate pour les graminées, 720 g/ha de 2,4-D pour les légumineuses) et à coucher les pailles au sol, ce qui peut aussi se faire durant la récolte.

Le contrôle de couvertures végétales à base de résidus de récolte abondants et de plantes de couverture annuelles ayant fini leur cycle

Lorsque le climat et le régime hydrique ne permettent pas la culture en contre-saison, l'augmentation de la production globale de biomasse, pour "alimenter" les SCV, s'obtient par les associations de cultures avec des plantes de couverture. Ces cultures et plantes de couverture terminent cependant leur cycle plusieurs mois avant le semis de la culture suivante. Elle ne demandent aucun contrôle particulier car elles sont déjà mortes. Cependant, durant la période sans aucune culture ou plante de couverture implantée, des plantes adventices peuvent se développer. Elles sont d'autant plus présentes et abondantes que la biomasse au sol est peu importante et que la période sans culture est longue. La préparation de la parcelle se limite alors à contrôler ces adventices qui auraient pu se développer.

Ces adventices sont en général des adventices annuelles qui peuvent se contrôler soit :

- mécaniquement par fauche (si elles sont peu abondantes et de grande taille, mais n'ayant pas achevé leur cycle, auquel cas il n'est pas nécessaire de les traiter), passage

Exemples sur résidus abondants

Après un maïs associé à du niébé ou de la dolique, fertilisés et ayant donné une forte production (4-5 t/ha de maïs + 1 t/ha pour la légumineuse), la biomasse produite est en général suffisante (plus de 8 t/ha, avec une plante volubile qui a recouvert les autres) pour avoir contrôlé la plupart des adventices et pour pouvoir conduire la saison suivante une culture de riz sans herbicide.

Le choix des itinéraires techniques

d'un rouleau à cornières (ou d'un motoculteur avec des roues-cages) ou par gyrobroyage de la végétation encore vivante (en laissant la paille en place) ;

- chimiquement par l'application d'herbicide à faible dose (360 à 720 g/ha de 2,4-D sur les dicotylédones, 360 à 540 g/ha de glyphosate sur les graminées, éventuellement en mélange) si elles sont abondantes et en végétation.

Dans le cas (rare) de parcelles avec une forte biomasse de résidus de récolte mais dans lesquelles les plantes vivaces n'ont pas été éliminées (échec du traitement précédent), la seule solution est de faucher et d'enlever la biomasse en place pour pouvoir appliquer un herbicide total sur les plantes vivaces (l'application directe d'herbicide n'est pas possible, la biomasse risquant d'intercepter les herbicides et de protéger les plantes vivaces en dessous). Si les plantes vivaces apparaissent en taches, il suffit de conduire cette opération localement sur ces taches.

Le contrôle de plantes de couverture utilisées en mélanges

Dans le cas où les plantes de couverture sont utilisées en mélanges, le contrôle se fait :

- mécaniquement, par fauche, passage d'un rouleau à cornières ou gyrobroyage si toutes les espèces utilisées dans le mélange peuvent être contrôlées ainsi (mélange de plantes annuelles comme avoine + vesce + radis fourrager + lupin par exemple) ;
- chimiquement dans le cas contraire, en appliquant les doses d'herbicides nécessaires à contrôler l'espèce la plus résistante, et en mélangeant éventuellement des herbicides pour contrôler un mélange de graminées et de légumineuses (mélange glyphosate + 2,4-D sur un mélange brachiaria + cajanus par exemple).

Dans le cas d'un mélange de plantes de couverture incluant des espèces vivaces que l'on souhaite contrôler sans utiliser d'herbicide, il est possible de les décapier à l'*angady*, mais au prix d'un très important travail.

La préparation des parcelles
Synthèse

Le contrôle des mélanges de plantes de couverture

Les temps de travaux pour le contrôle des couvertures

L'application d'un herbicide avec un pulvérisateur à dos prend 4 à 6 jours de travail par hectare.

Le passage d'un rouleau à cornières tiré par des zébus prend 3 à 5 jours/ha en moyenne pour un attelage.

Le décapage à l'*angady* est beaucoup plus long, pouvant atteindre plus de 150 jours/ha sur des plantes vivaces à rhizomes, nombreuses.

La préparation manuelle d'une couverture de stylosanthes à forte biomasse prend 100 à 120 jours/ha et demande la mobilisation d'équipes de 4 à 5 personnes qui travaillent ensemble.

2.4. Synthèse sur la préparation des parcelles

Le travail du sol, parce qu'il a un impact très négatif sur l'écosystème "sol", doit être évité autant que possible. Il n'a d'intérêt qu'en année "zéro" de préparation du semis direct, sur des parcelles à faible biomasse disponible, et tout particulièrement sur sol battant.

Cette année "zéro" de préparation doit absolument éliminer toutes les plantes vivaces qu'on ne souhaite pas garder comme couverture végétale vive.

Selon les moyens disponibles et les espèces présentes, ce contrôle des plantes vivaces peut se faire :

- simplement par décapage à l'*angady*, ce qui a l'avantage de se faire sans matériel spécifique ni intrants, en saison sèche (durant laquelle la charge de travail est relativement faible) mais entraîne une perturbation du sol, est difficile à réaliser sur plantes à stolons ou rhizomes et engendre un travail considérable ;
- par labours répétés (technique bien maîtrisée par les agriculteurs), sans intrant chimique, mais au prix d'un travail très important (surtout quand il est fait manuellement) et qui engendrent érosion et forte perturbation du sol ;
- par traitement herbicide, ce qui nécessite une bonne maîtrise technique de ces pro-

Le choix des itinéraires techniques

duits et ne peut se faire que s'ils sont accessibles et que l'on dispose du matériel nécessaire. En revanche, cette pratique permet un excellent contrôle de toutes les plantes indésirables, en peu de temps, sans perturbation du sol ni érosion.

Par la suite, pour l'installation de cultures en SCV, la préparation des parcelles se limite au contrôle des couvertures végétales (annuelles ou vivaces), qui peut se faire (en fonction des espèces à contrôler et des moyens disponibles) :

La préparation des parcelles Synthèse

Les herbicides pour le traitement des parcelles

Pour le traitement des parcelles sans travail du sol, deux herbicides systémiques sont particulièrement intéressants :

- le glyphosate, qui contrôle la plupart des graminées et cypéracées vivaces (et certaines dicotylédones) à une dose de 1 800 g/ha de matière active ;
- le 2,4-D amine qui contrôle la plupart des dicotylédones à une dose de 1 080 g/ha de matière active.

Ils contrôlent à des doses plus faibles (360 à 540 g/ha pour le glyphosate, 360 à 720 g/ha pour le 2'4-D) les plantes annuelles.

En fonction du type de flore à contrôler et de leur stade, on peut utiliser ces deux produits en mélange à des doses variables, en :

- favorisant le 2,4-D (très peu coûteux) sur les dicotylédones et le glyphosate pour les graminées ;
- réduisant les doses sur des jeunes plants en pleine végétation et en augmentant les doses pour contrôler des plants âgés, peu actifs végétativement.

- par traitement herbicide, avec les mêmes avantages et contraintes que pour le contrôle des plantes vivaces en année "zéro", mais qui permet également le contrôle temporaire des couvertures vives et a l'intérêt, par rapport aux autres pratiques, d'éviter que la couverture ne soit emportée par les eaux de pluie (en particulier sur pente forte). Cette pratique peut cependant être délicate à mettre en œuvre avec un simple pulvérisateur dans le cas d'une parcelle à très forte biomasse (mais ne pose pas de problème en agriculture mécanisée), et doit parfois se faire à une période précise (souplesse du calendrier d'application variable selon les espèces) ;

- par décapage à l'angady, avec les mêmes avantages et inconvénients que pour la maîtrise des adventices vivaces. Il n'est cependant pas possible de préparer des couvertures vives de cette manière, la plante de couverture ne pouvant pas être contrôlée partiellement ;

- par fauche, passage d'un rouleau à cornières ou gyrobroyage pour une couverture morte à partir de plantes annuelles. Ces techniques très simples ne demandent aucune connaissance particulière (si ce n'est celle des plantes). La fauche manuelle représente un travail important, mais peut se faire avec un matériel très limité. Un rouleau à cornières, peu coûteux et simple à fabriquer réduit considérablement le temps de travail. Le gyrobroyage, très rapide, nécessite un investissement nettement plus important.

2.5. Quelques erreurs à éviter lors de la préparation des parcelles

La préparation des parcelles est une étape importante qui conditionne le reste de l'itinéraire technique. Il est important de la réussir et d'éviter des erreurs qui engendrent des difficultés pour la suite de la conduite de la parcelle. Il faut être très vigilant pour éviter en particulier :

- un mauvais contrôle des plantes vivaces en année "zéro", qui peut être lié à de mauvaises conditions d'application de l'herbicide ou un mauvais choix des pratiques (labour de plantes à rhizomes par exemple), et qui entraîne des difficultés pour la conduite de la culture mais aussi pour la mise en culture en semis direct les années suivantes ;
- le travail du sol quand il n'est pas nécessaire en année "zéro", et tout travail du sol les années suivantes, sur des systèmes SCV installés mais qui pourraient rencontrer des difficultés ;
- le traitement d'une couverture insuffisante quand on ne dispose pas des moyens pour assurer un bon contrôle des adventices par la suite (préférer concentrer la biomasse) ;
- le contrôle trop précoce d'une couverture à faible biomasse, et en particulier pour les biomasses à bases de légumineuses à décomposition rapide, qui risque d'entraîner une mauvaise maîtrise des adventices ;
- le contrôle trop tardif d'une couverture à très forte biomasse, ce qui peut engendrer des difficultés pour semer dans une couverture qui ne s'est pas tassée suffisamment.



Le choix des itinéraires techniques

3. Le semis

Le semis est une étape clef de l'itinéraire technique, déterminant les conditions d'implantation et de croissance des cultures et le contrôle des adventices. C'est lors du semis que se fait l'ajustement d'un grand nombre de paramètres qui permettent d'optimiser les populations de plantes et leur production de grains, fibres et/ou tubercules et de biomasse totale.

L'installation de populations de plantes se raisonne donc de manière à répondre à un double objectif :

- gérer la compétition avec la culture principale (dans le cas d'association) ;
- permettre une bonne production des plantes associées ou en succession.

Ce double objectif doit être atteint avec les moyens disponibles (force de travail, matériel, intrants), en tenant compte des contraintes au niveau de l'exploitation. Pour cela, les divers paramètres techniques du semis peuvent et doivent être ajustés précisément.

Les modalités optimales de semis sont très largement dépendantes des situations ou unités agronomiques qui déterminent la période de production possible.

Pour une unité agronomique donnée (climat x régime hydrique x fertilité), les modalités du semis (date, mode, densité, profondeur, agencement dans l'espace et fertilisation des différentes plantes), qui permettent de gérer la compétition entre plantes, dépendent avant tout des caractéristiques spécifiques et variétales des plantes cultivées et des plantes associées. Ces plantes sont choisies (lors du choix des systèmes, cf. Volume II. Chapitre 1.) pour leurs capacités à s'adapter à cette unité agronomique et pour leur compétitivité relative pour la lumière (liée au cycle, à la vigueur au départ et au port) et pour l'eau et les éléments nutritifs (liée essentiellement à leur système racinaire).

Les paramètres techniques optimaux du semis pour un système de culture donné, sur une unité agronomique donnée, se raisonnent dans un ensemble, avec de nombreuses interactions entre les différents paramètres. Un peuplement optimal peut cependant être déterminé à l'avance, avec les différents paramètres pour le semis. Ces paramètres pour un peuplement optimal sont présentés en détail dans les fiches techniques par système et par zone (cf. Volume V.), pour chaque situation.

Toutefois, dans la pratique, le semis est en général le fruit de compromis permettant de se rapprocher le plus possible de l'optimum pour ces paramètres, avec les moyens disponibles au niveau de l'exploitation (force de travail, matériel, etc.). Les aléas font que ces optima ne peuvent pas toujours être obtenus pour tous les paramètres du semis. Lorsqu'un paramètre ne peut être réalisé de manière optimale, il est alors indispensable de réajuster les autres paramètres du semis afin d'optimiser la population de plantes pour la situation réelle sur le terrain.

La gestion des associations nécessite donc de l'anticipation (lors de la conception des systèmes et des itinéraires techniques) et de la réactivité (lors de la mise en place sur le terrain).

Certains paramètres du semis sont fondamentaux et sont fortement influencés par des facteurs extérieurs (climat, fertilité du sol, etc.). Ils concernent avant tout la culture principale, pour laquelle les paramètres sont fixés en priorité à leur optimum. La date et la densité de semis de la culture principale (qui déterminent le peuplement) sont particulièrement importantes pour assurer une bonne production. Leur réalisation dans des conditions optimales est un objectif majeur à atteindre.

Le semis

Les objectifs des associations

Les paramètres du semis sont des "outils" majeurs qui permettent de gérer les associations. Ces paramètres sont ajustés pour répondre à un objectif, qui est en général de maximiser la production des plantes associées, sans nuire au rendement de la culture principale. On peut cependant dans certains cas (en particulier les premières années pour amorcer la "pompe" des SCV) favoriser la production de biomasse par les plantes de couverture en optimisant leur installation.



Semis manuel dans la paille

Le choix des itinéraires techniques

Le semis

D'autres paramètres du semis, liés aux plantes associées (comme la date de semis, le mode, la densité, la profondeur de semis ou les variétés), à l'agencement des plantes entre elles ou à la fertilisation sont plus flexibles et peuvent être ajustés facilement. Ils se raisonnent dans un ensemble complexe et donnent de la souplesse pour obtenir des peuplements optimaux, une fois que les paramètres pour la culture principale sont fixés et effectivement réalisés, dans des situations réelles (de conditions climatiques, moyens disponibles, date de semis effective de la culture principale, etc.).

La détermination des paramètres optimaux se fait donc dans un ensemble, en identifiant tout d'abord ceux pour la culture principale. Ces paramètres pour la culture principale peuvent être ajustés si nécessaire, avant son semis, pour faciliter l'installation des plantes associées (agencement dans l'espace en particulier comme dans le cas du semis en doubles rangs).

Les paramètres pour le semis des plantes associées sont alors déterminés. Il doivent cependant être ajustés après le semis de la culture principale pour s'adapter aux conditions effectives de la parcelle en culture.



Les principes de gestion de populations de plantes

La culture principale reçoit la priorité. Une fois les conditions de son succès assurées, les plantes associées sont installées pour se développer où et quand de l'espace est disponible, sans engendrer de compétition pour la culture. La gestion des populations se fait par un décalage entre plantes dans le temps (dates de semis) et/ou dans l'espace (densité de semis, agencement dans l'espace) et par régulation de leur vitesse de croissance (profondeur de semis, apports localisés d'engrais, implantation par boutures ou par graines lors du semis, fauches ou application d'herbicides après semis). Comme pour les adventices, on cherche à faire en sorte que les plantes associées ne fassent pas de concurrence à la culture principale pendant les 30 à 45 premiers jours du cycle. A partir du moment où la culture recouvre totalement le sol, les espèces associées sont contrôlées naturellement et efficacement par ombrage. Il faut cependant prendre garde à ce que les plantes associées soient placées dans des conditions qui leur permettent une bonne production de biomasse, faute de quoi leur intérêt est limité.

Le choix de l'itinéraire technique : l'ajustement des paramètres du semis

	Déterminer les paramètres techniques pour assurer la mise en place de la culture principale dans des conditions optimales				
	Date de semis optimale pour la culture Page 45	Densité de semis optimale pour la culture Page 47	Mode de semis de la culture adapté aux moyens Page 48	Profondeur de semis adaptée à la culture Page 49	Variété performante Page 49
	Déterminer les paramètres techniques pour assurer la mise en place des plantes de couverture en association ou en relais				
Date de semis optimale des plantes associées Page 52	Densité de semis optimale des plantes associées et agencement des plantes dans l'espace Page 54	Mode de semis ou d'implantation des plantes associées Page 55	Profondeur de semis des plantes associées adaptée Page 55	Variétés des plantes associées adaptées au système Page 56	
Apport (localisé) de fertilisation au semis Page 57					
Réaliser le semis Page 58					

Le choix des itinéraires techniques

3.1. Assurer la mise en place et les conditions de croissance de la culture principale

La date de semis de la culture principale

Date optimale de semis

La date de semis de la culture principale a une forte influence sur les performances du système, tout au long du cycle. La date optimale de semis est déterminée avant tout par l'arrivée des pluies et/ou le régime hydrique de la parcelle. La préparation de la parcelle doit être faite aussitôt que possible pour permettre un semis dès les premières pluies "utiles".

La date de semis de la culture principale conditionne en particulier la biomasse produite par le système et en conséquence ses performances et la vitesse de transition entre systèmes conventionnels et systèmes SCV.

Un avantage majeur des pratiques de semis direct sur couverture végétale permanente est qu'elles permettent une préparation précoce des parcelles, qui rend le semis possible dès les premières pluies utiles. Les SCV permettent aussi le semis à sec, en fin de saison sèche quand les pluies se font attendre : le risque de germination après des premières pluies en faible quantité (ce qui ne permettrait pas aux plantules de survivre si les pluies ne s'installaient pas rapidement), important sur sol nu, est fortement limité par le paillage qui intercepte l'eau des premières pluies. Les graines, placées sous la paille ne sont humidifiées qu'après que le paillage ait accumulé plus de 10 à 20 mm d'eau. Grâce à une bonne infiltration, le sol a alors constitué une réserve en eau permettant aux plantes de supporter une période sèche, d'autant plus que l'évaporation est réduite par la couverture.

Le semis direct offre donc une plus grande souplesse que les systèmes conventionnels, et facilite le semis précoce ce qui est un atout majeur en agriculture.

En année "zéro" de préparation du semis direct, qui se fait souvent après travail du sol, il est très important d'arriver à semer tôt pour permettre une "entrée" rapide dans ces techniques. Il faut pour cela réaliser au plus tôt la préparation du sol quand elle est nécessaire. Un semis trop tardif en année "zéro" peut entraîner une production de biomasse insuffisante pour pouvoir réaliser un semis direct dans de bonnes conditions la saison suivante, engendrant en particulier des difficultés de préparation de la parcelle (faut-il re-labourer ou non?) et de contrôle des adventices. De plus, les améliorations agronomiques liées au semis direct ne se font pas, ou faiblement, ressentir : amélioration lente (voire dégradation) de la structure du sol, non contrôle des adventices (qu'il faut arracher en semis direct, ce qui prend plus de temps que le sarclage sur labour), etc. La transition des systèmes conventionnels vers les systèmes SCV devient longue et compliquée.

La date
de semis
de la culture
principale

Le semis

Intérêts d'un semis précoce

Sur le plan agronomique, un semis précoce est de manière générale très favorable. Le respect d'une date de semis précoce est particulièrement important car il permet :

- d'optimiser la période de culture (capital dans les climats à longue saison sèche et/ou froide) et l'utilisation de l'eau, et ainsi de réduire le risque climatique ;
- d'installer les plantes de couverture plus tôt, et donc dans de meilleures conditions (certains systèmes avec successions intra-annuelles peuvent même être impossibles à conduire sans un semis précoce de la culture principale) ;
- de maximiser la production totale ;
- d'obtenir rapidement une bonne couverture du sol et par là, de réduire l'érosion et la pression des adventices ;
- de réduire la pression des insectes et des maladies dont les cycles de multiplication commencent souvent avec les pluies.

Quand le semis ne peut être effectué tôt, les contraintes agronomiques augmentent (augmentation de la pression des adventices et des bioagresseurs, dégradation par l'érosion sur sol nu exposé aux pluies violentes en début de cycle, etc.). Le risque climatique (manque d'eau pour terminer le cycle de la culture) augmente également et le potentiel de production diminue rapidement (en particulier pour les variétés photo-périodiques). Plus le climat est contraignant et plus la pression des bioagresseurs et des adventices est élevée, plus un retard dans le semis a des conséquences négatives importantes.

De plus, le semis tardif de la culture principale rend plus difficile la gestion des associations et/ou successions. Il réduit la quantité de biomasse produite et, en conséquence, les performances des systèmes SCV.

Le semis doit donc être réalisé dès les premières pluies "utiles", soit après 40 à 50 mm tombés en quelques jours en début de saison des pluies. La réserve en eau ainsi constituée dans le sol permet de supporter jusqu'à deux à trois semaines sans pluies, ce qui est fréquent en début de cycle, quand les pluies ne sont pas encore "installées".

Le choix des itinéraires techniques

La date de semis de la culture principale

Le semis

Cas particulier

Dans certaines situations très particulières, le semis dès les premières pluies utiles n'est pas la meilleure option agronomique.

Climat très humide

C'est le cas par exemple de milieux très humides dans lesquels il est préférable de caler les cycles de culture (si cela ne peut être fait par le choix des variétés), de manière à éviter d'arriver à floraison à une période à forte nébulosité (à laquelle le riz est sensible), ou à maturité pendant les mois extrêmement pluvieux (en particulier pour des cultures sensibles comme le soja).

Risque de période sèche

C'est aussi le cas de milieux à saison des pluies avec un risque de "trou" pluviométrique de quelques semaines ou de type bimodal pour lesquels il faut éviter l'arrivée à floraison, période très sensible, à un moment de déficit hydrique marqué.

Parcelle isolée sous forte pression de ravageurs

De plus, quand la pression de certains ravageurs comme les oiseaux ou les rats est forte (cas fréquent des zones de défriche), une parcelle isolée est plus fortement touchée que des parcelles arrivant ensemble à maturité sur de grandes surfaces. Le semis précoce mais de manière isolée perd alors ses avantages.

Date effective de semis

Le semis est cependant une étape très exigeante en travail (ou en équipements dans le cas d'une agriculture mécanisée). Il est par conséquent difficile au niveau d'une exploitation d'arriver à réaliser tous les semis sur une période de temps très courte, surtout si la préparation des parcelles n'a pas pu être faite à l'avance.

La réalisation effective du semis de l'ensemble des parcelles d'une exploitation demande donc une bonne organisation et dépend :

- des moyens mobilisables au niveau de l'exploitation au moment du semis (force de travail et matériel) ; et
- du temps nécessaire au semis de l'ensemble des parcelles et en conséquence du mode (manuel ou mécanisé, à la volée ou en lignes/poquets), et de la densité de semis.

De manière générale, les moyens et le mode de semis doivent être adaptés pour permettre de semer rapidement l'ensemble des parcelles à la densité de semis optimale.

Cependant, quand les moyens nécessaires à un semis rapide ne peuvent pas être mobilisés, il faut rechercher un compromis entre date, mode et densité de semis compatible avec les moyens disponibles, et qui minimise la perte de potentiel de rendement des cultures.

Un des atouts majeurs des pratiques de semis direct est qu'elles allègent fortement la charge de préparation des parcelles et permettent un semis précoce, sur l'ensemble de l'exploitation.

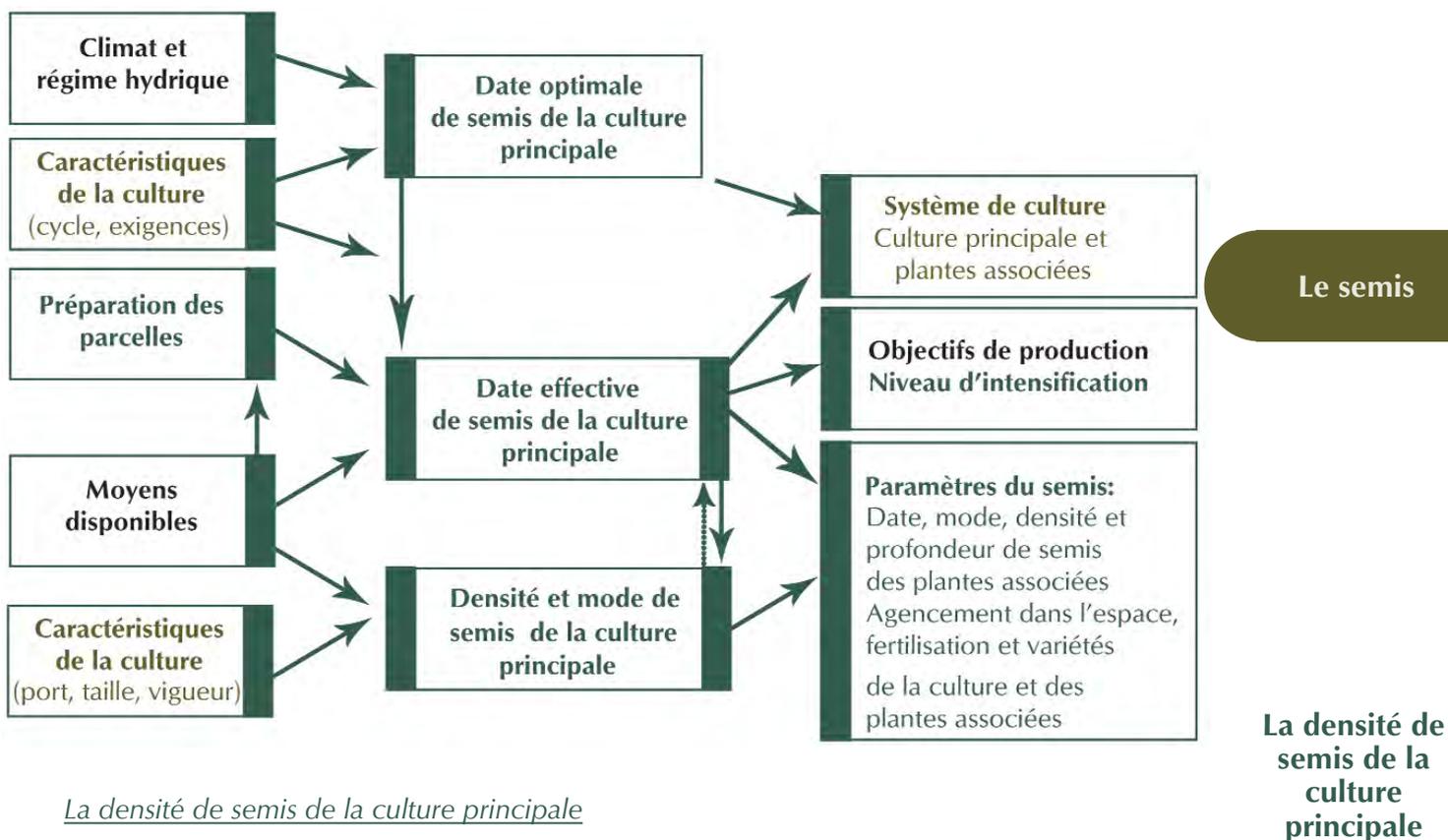
En cas de semis tardif, le potentiel de production étant plus faible et les risques plus élevés, l'apport d'intrants n'est plus forcément intéressant ni même rentable. Les objectifs de production, le niveau d'intensification et les autres paramètres du semis (agencement dans l'espace, densité, profondeur et variétés) doivent être réajustés. Quand le retard est très important, le système de culture lui-même peut être voué à l'échec et il ne faut pas hésiter à le changer pour des cultures de cycle plus court, moins exigeantes.

Exemples sur la date de semis de la culture

Sur les hautes terres, une installation très précoce sur les *tanety* peut se faire en semis direct, en semant à sec en octobre, avant l'arrivée des premières pluies. Il permet :

- d'installer les cultures sur les *tanety* à temps, sans retarder les semis dans les rizières (qui sont en général prioritaires) ;
- d'éviter un risque de froid à la floraison ;
- de réduire les risques de grêle avant récolte.

Le choix des itinéraires techniques



La densité de semis de la culture principale

Densité optimale de semis

Avec la date de semis, la densité est un facteur fondamental qui détermine le peuplement de la culture principale et par là ses performances. Ce paramètre doit être ajusté en fonction de la culture (espèce et variété), du taux de germination des semences, de la pression des adventices et des objectifs de production, en liaison avec les limitations climatiques (l'eau en particulier) et de la fertilité (fertilité du sol x apports de fertilisation). Ces objectifs de production peuvent être revus en fonction de la date de semis effective (qui influence le risque climatique et la pression des adventices), ce qui peut amener à revoir également les apports d'engrais.

La densité de semis de la culture principale est déterminée avec pour objectifs :

- d'obtenir rapidement une bonne couverture du sol (pour l'interception de la lumière). Ce paramètre dépend des espèces et des variétés (en particulier leur capacité de tallage pour les céréales) et de leur alimentation ;
- de permettre aux plantes de compléter leur cycle dans de bonnes conditions d'alimentation en eau et éléments nutritifs. La densité s'adapte donc en fonction du facteur le plus limitant. En cas de risque de manque de l'un des deux, une faible densité permet aux plantes de terminer leur cycle sur les réserves du sol, alors que ces réserves seraient épuisées rapidement avec une forte densité.

La densité de semis

Une forte densité de semis permet à la culture de couvrir plus rapidement le sol et d'être plus compétitive par rapport aux mauvaises herbes. Elle peut avoir un effet négatif d'épuisement rapide des ressources en eau et en éléments fertilisants quand celles-ci sont limitantes.

Une faible densité de semis permet d'éviter cet effet et de faire en sorte que toutes les plantes aient suffisamment de ressources pour terminer leur cycle. Elle limite cependant le potentiel de production.

Exemples sur la densité de semis

Pour un maïs semé dans le Sud-Ouest, en milieu semi-aride, sur sols relativement pauvres et avec un objectif de production de 1-2 t/ha, un peuplement de 10 000 plants/ha est suffisant. Pour une production de 5-6 t/ha au lac Alaotra sur sol fertilisé, le peuplement recommandé est de 30 000 à 40 000 plants/ha. Un maïs cultivé pour l'ensilage est semé à forte densité pour atteindre un peuplement élevé de 80 000 à 100 000 plants/ha.

Le choix des itinéraires techniques

La densité de semis de la culture principale

Le semis

Densité effective de semis

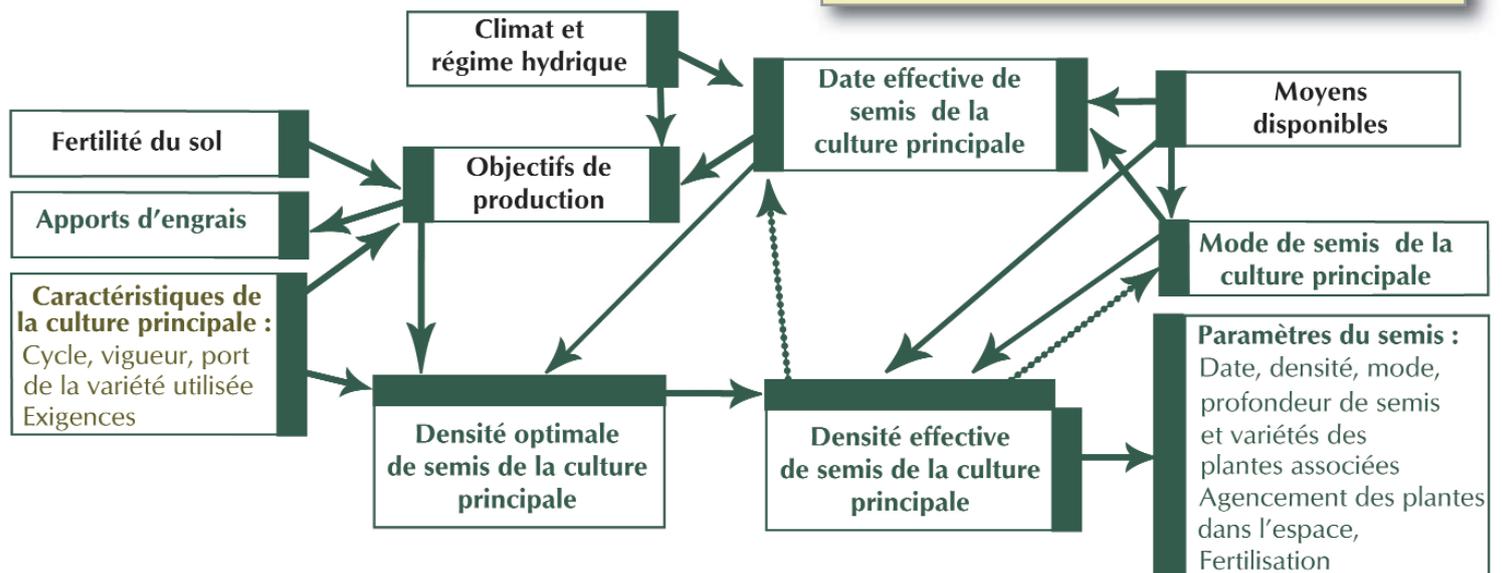
La densité effective de semis dépend de la densité optimale (liée aux caractéristiques de la plante cultivée) et des moyens mobilisables (équipements et/ou main d'œuvre) au niveau de l'exploitation, qui doivent être autant que possible adaptés aux besoins. Cependant, en cas de manque de moyens, un compromis doit être trouvé entre date, densité et mode effectifs de semis pour limiter le moins possible le potentiel de production. On peut ainsi être amené à baisser la densité de semis afin d'être en mesure de le réaliser à temps sur l'ensemble de l'exploitation.

Peuplement

Le peuplement final dépend de la densité effective de semis et du taux de germination. Il est donc indispensable, lors du calcul de la densité de semis optimale et de la réalisation du semis, de prendre en compte ce taux de germination, qui doit être mesuré à l'avance.

Le test de germination

Avant de réaliser le semis, qui vise à obtenir un peuplement optimal, il est indispensable de réaliser un test pour s'assurer de la bonne germination des semences. Ce test peut se faire très simplement, en plaçant une centaine de graines bien espacées dans un papier absorbant plié en accordéon (\ \ / \ / \ /) ou entre deux épaisseurs de papier ou de coton posés dans une assiette, et maintenus humides dans tous les cas. Quelques jours après, il suffit de compter les graines germées ayant une apparence normale pour calculer le taux de germination. Si ce taux est très faible (moins de 10 % environ), il faut changer de lot de semences. Un mauvais taux de germination (<40% pour les petites graines, <60% pour les grosses graines, même après traitement pour lever les éventuelles dormances) implique que le nombre de graines au semis doit être augmenté pour compenser la mauvaise germination. Après levée, un démariage peut être conduit si nécessaire pour réduire le peuplement.



Le mode de semis de la culture principale

Le mode de semis de la culture principale

Le mode de semis est lié aux caractéristiques de la plante et aux moyens disponibles sur l'exploitation au moment du semis. Il doit permettre la localisation de la graine dans de bonnes conditions, à la profondeur optimale et avec l'agencement dans l'espace souhaité.

Le mode de semis des cultures (et des plantes associées) est en général déterminé de manière à rendre possible un semis rapide sur toute l'exploitation, avec les densités optimales. Les moyens pour le réaliser doivent être mobilisés autant que possible.

Dans le cas où les moyens mobilisables ne sont pas suffisants, le potentiel de production risque d'être abaissé du fait du retard de mise en place. Il faut alors rechercher le meilleur compromis pour assurer un semis aussi rapide que possible, à des densités et avec un agencement des plantes dans l'espace permettant de conserver un bon potentiel de production et d'assurer la conduite des cultures par la suite (contrôle de l'enherbement, etc.).

Le choix des itinéraires techniques

Semis manuel ou semis mécanisé

Le semis manuel est très laborieux, mais permet un agencement à volonté des cultures et des plantes associées, à tout moment, et ne demande aucun matériel (un simple bâton ou une petite *angady* suffisent). Il doit être réalisé consciencieusement, faute de quoi il peut être irrégulier et hétérogène (profondeur de semis variable, alignements mal respectés, etc.).

Du petit matériel de type canne planteuse ou roue semeuse, permet le semis en lignes ou en poquets plus facilement et plus rapidement que manuellement, pour un coût modique.

Le semis mécanisé permet de semer rapidement et de manière homogène de grandes surfaces. Il est en revanche coûteux (investissement en matériel important) et ne permet pas toujours d'agencer les plantes comme souhaité. On peut toutefois semer simultanément des cultures principales et des espèces associées avec des semoirs équipés de trois trémies dont une pour les espèces de couverture associées, pures ou en mélanges (semoirs Vence Tudo[®], Semeato[®]). Il est aussi possible de semer des plantes de couverture à la volée avec des semoirs centrifuges, mécaniques ou manuels (petits semoirs portables à manivelle).

Semis en lignes, semis en poquets, semis à la volée

Le semis en lignes ou en poquets est nettement plus exigeant en temps que le semis à la volée (surtout en petite agriculture manuelle). Il permet en revanche d'agencer les plantes dans l'espace pour optimiser le peuplement végétal et de positionner les graines dans des conditions optimales. De plus, il facilite grandement les travaux d'entretien (sarclages éventuels en année "zéro", desherbages, etc.).

A l'inverse, le semis à la volée, rapide et peu coûteux, ne permet pas de positionner les graines (pas de possibilité d'agencement dans l'espace, graines déposées en surface).

De plus, le semis à la volée sur une couverture végétale est possible avec les plantes à petites graines (sorgho, mil, etc.), mais n'est possible que pour certaines espèces à grosses graines qui germent bien sous un couvert végétal (comme le riz). La plupart des espèces à grosses graines exigent un léger travail du sol pour être mises en conditions favorables de germination. Elles ne peuvent donc pas être semées à la volée en semis direct.



Semis manuel en ligne
Photo : N. Moussa



Positionnement des graines (soja) dans le sol (semis à la roue semeuse)

La profondeur de semis de la culture principale

La profondeur de semis optimale est liée avant tout aux caractéristiques de la plante cultivée, et en particulier à la taille des graines. La profondeur optimale est de 3 à 4 fois la taille de la graine (0,5 à 1 cm pour les petites graines, 2 cm environ pour les grosses graines). Un semis trop profond retarde fortement la levée et est néfaste pour la culture. Un semis trop superficiel ou en surface (semis à la volée non recouvert) risque d'entraîner une mauvaise levée.

La variété de la culture principale

Pour une même espèce, différentes variétés peuvent avoir des comportements très différents. La production de biomasse peut varier fortement d'une variété à une autre, les cycles de cultures peuvent être plus ou moins longs, le port peut changer, la photosensibilité peut varier, le système racinaire peut être très différent, etc. Ainsi, la variété même conditionne les possibilités d'associations, les risques de compétition, les conditions de cultures, les intérêts agronomiques, etc. Il est donc important de bien connaître les différentes variétés et d'utiliser les variétés sélectionnées pour leur aptitude à produire une forte biomasse, dans des conditions spécifiques.

Le mode de semis de la culture principale

Le semis

La profondeur de semis de la culture principale

La variété de la culture principale

Le choix des itinéraires techniques

La variété de la culture principale

La variété est normalement choisie en même temps que le système, en particulier pour :

- son cycle adapté au climat et au régime hydrique, et au système de culture ;
- son port, sa taille et sa vigueur au départ qui influencent ses aptitudes à supporter la compétition des adventices et/ou des plantes associées ;
- ses exigences sur le plan de la fertilité ;
- ses aptitudes à résister aux attaques d'insectes et aux maladies.

La variété effectivement semée peut cependant être changée par rapport aux prévisions, pour s'adapter à des contraintes imprévues comme la disponibilité en semences

ou une date de semis tardive (on préférera alors une variété de cycle plus court et/ou peu photopériodique).

L'approvisionnement de "dernière minute" en semences d'une nouvelle variété est cependant souvent difficile à réaliser en pratique. Il est donc très important de se préparer à l'avance (approvisionnement assuré tôt, préparation précoce des parcelles, mobilisation des moyens nécessaires au semis, etc.), pour permettre un semis de la variété choisie, dans de bonnes conditions.

Dans le cas où un changement de variété est nécessaire mais impossible à réaliser, les objectifs de production de la culture doivent être revus à la baisse, et avec eux la fertilisation et les paramètres du semis. Il faut alors chercher à maximiser la production des plantes associées, pour assurer un bon fonctionnement des systèmes en SCV l'année suivante.



B 22 (pluvial) et Sebota 68 (poly-aptitudes)
Riz au système racinaire très différent

Exemples sur la variété de la culture principale

Dans les rizières à mauvaise maîtrise de l'eau, la pratique traditionnelle consiste à prendre le risque de cultiver des variétés de riz irrigué, sans être certains que la disponibilité en eau leur permettra de produire convenablement. Les variétés de riz poly-aptitudes (en particulier la gamme des riz SEBOTA) permettent de proposer une gestion totalement différente de l'eau, et réduisent fortement le risque climatique/hydrique. Suivant les rizières, ces variétés (grâce à un système racinaire mixte, intermédiaire entre riz pluvial et riz irrigué) peuvent être semées en pluvial, très tôt, et terminer leur cycle quand (et si) l'eau d'irrigation arrive, ou à l'inverse, commencer leur cycle en irrigué (repiquage, etc.) et le terminer en pluvial si l'eau vient à manquer.

L'agencement des plantes dans l'espace

La disposition dans l'espace de la culture principale vise à être la plus régulière possible. Il peut cependant être très intéressant d'agencer les plantes de manière particulière pour faciliter la gestion de la culture (contrôle des adventices en particulier) et l'association ou la succession de plantes.

Les plantes de couverture associées



Maïs + Cajanus cajan en doubles rangs

3.2. Installer des plantes en association, relais ou succession pour maximiser la production de biomasse

Une culture seule n'occupe pas tout l'espace, toute l'année. Elle laisse de la place, au moins temporairement, qui peut être utilisée pour installer des plantes qui permettent d'augmenter la production de biomasse et remplissent des fonctions écosystémiques. Ces plantes doivent cependant être gérées avec précaution pour ne pas engendrer de concurrence néfaste à la culture principale, et si possible vivre en synergie avec elle. Pour cela, le choix des espèces et variétés (et donc le choix du système de culture) est fondamental (cf Volume II, Chapitre 1.), tout comme l'agencement des plantes, dans l'espace et dans le temps.

Le climat et le régime hydrique déterminent la période de production

Le choix des itinéraires techniques

Les plantes de couverture associées

Le semis

possible en fonction des caractéristiques des espèces et des variétés des plantes cultivées. De nombreuses plantes de couverture sont choisies pour leur aptitude à se développer en conditions marginales. Elles peuvent étendre fortement la période de production de biomasse : durant la période froide dans les climats tempérés, aussi loin que possible durant la saison sèche quand elle est marquée ; et/ou produire très rapidement en début de saison des pluies ou lors d'une "petite" période de pluies dans les climats bi-modaux, avec deux saisons des pluies.

En fonction du climat et du régime hydrique, les associations et successions de plantes peuvent être plus ou moins faciles à gérer.

Plus la période de culture est réduite (longue saison sèche et/ou froide), moins il est possible de décaler les semis de la plante associée. Elle ne pourrait pas s'installer dans des conditions satisfaisantes, même si elle est capable de se développer mieux que la culture principale dans des conditions marginales. La gestion de la compétition entre culture et plantes associées se fait alors avant tout par l'agencement dans l'espace des plantes, et l'apport localisé de fertilisation.

Quand la période de culture possible s'allonge, il est possible de décaler dans le temps le semis des plantes associées, ce qui permet d'augmenter les densités, à condition de respecter un agencement dans l'espace qui limite la compétition avec la culture principale.

Pour des périodes de culture possibles encore plus longues, des successions intra-annuelles peuvent être installées, ce qui n'empêche pas d'associer des plantes durant le premier cycle. Si la période de culture est suffisamment longue, on peut semer le deuxième cycle après récolte du premier, mais il est aussi possible de semer la deuxième saison "en relais", quelques semaines avant la récolte de la première culture si nécessaire.

Le principe de base est d'assurer une bonne implantation de la culture principale et d'ajuster les paramètres du semis des plantes associées afin d'optimiser leur production, sans engendrer de compétition néfaste à la culture principale. Ces paramètres constituent les "commandes" qui permettent de gérer les associations dans l'espace et dans le temps. Ils se raisonnent en interactions, de façon dynamique, et offrent de nombreuses possibilités pour s'adapter aux contraintes des exploitations.

Les paramètres du semis des plantes associées sont donc déterminés en interaction, en fonction :

- de la date et de la densité effectives de semis de la culture principale ;
- du climat et du régime hydrique, qui déterminent les périodes de croissance possible des plantes ;
- des moyens disponibles au niveau de l'exploitation pour réaliser les travaux ;
- des cycles respectifs des plantes associées : une plante de couverture à cycle court doit être décalée (dans le temps et/ou l'espace) par rapport à une culture à cycle plus long ;
- de leur vigueur au démarrage : le stylosanthes par exemple qui démarre lentement peut être associé tôt avec la culture, alors qu'une plante comme le brachiaria qui démarre rapidement ne doit pas l'être. De manière générale, les plantes à grosses graines démarrent plus ra-

Les "commandes" pour gérer les associations

Pour une unité agronomique donnée (climat x régime hydrique x fertilité), et un système de culture donné, la gestion des associations se fait de manière dynamique, dans l'espace et dans le temps en "jouant" sur :

- la date de semis de la plante associée, qui permet de gérer facilement les associations dans le temps ;
- l'agencement des plantes dans l'espace, et donc le mode et la densité de semis, qui permettent d'utiliser l'espace au mieux ;
- l'apport localisé de fertilisation, le choix des variétés, le mode d'implantation et la profondeur de semis des plantes associées, qui permettent de jouer de façon dynamique sur les vitesses de croissance relatives des plantes.



Semis du stylosanthes trois semaines après le riz en année "zéro"

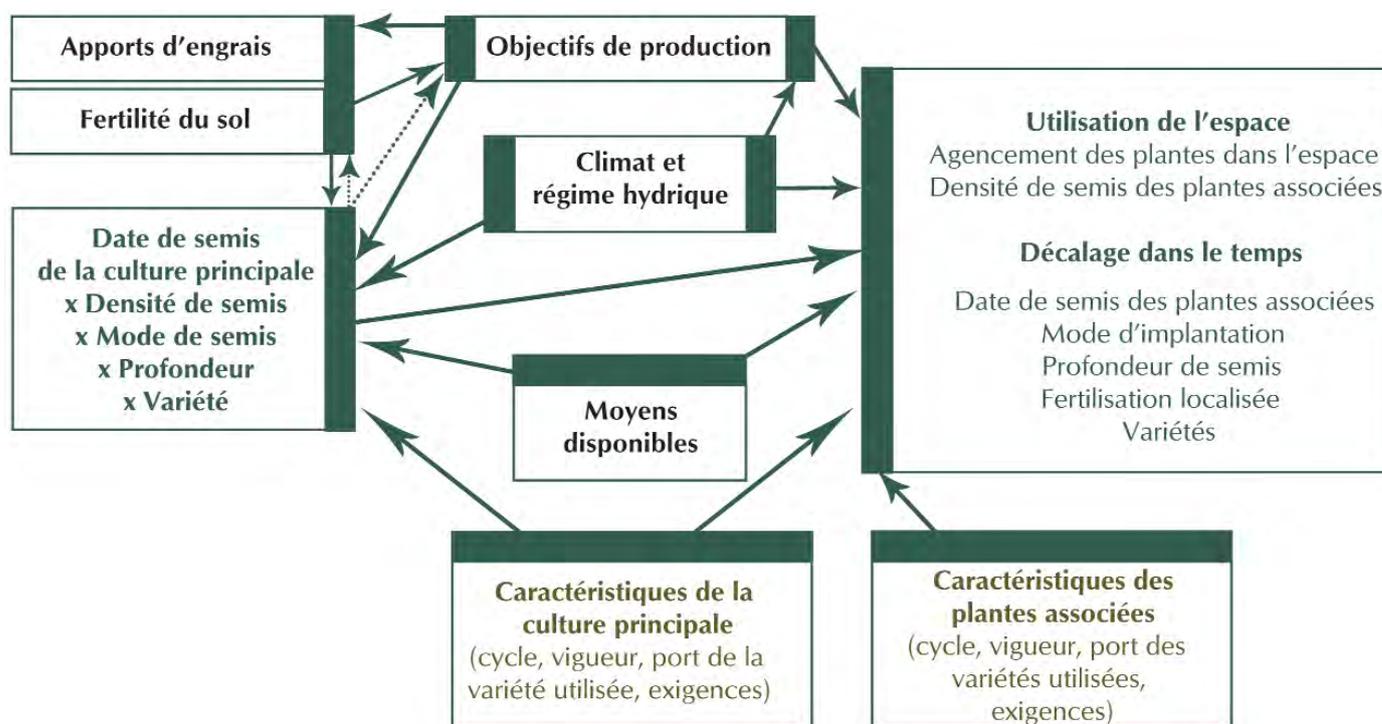
Le choix des itinéraires techniques

Le semis

pidement que les plantes à petites graines ;

- du port des plantes associées : une plante de couverture volubile qui risque de grimper et d'étouffer la culture doit être décalée par rapport à la culture ;

- du niveau de fertilité du sol et de la fertilisation apportée : une culture exigeante sur sol pauvre a une croissance beaucoup moins rapide qu'une plante de couverture plus tolérante, dont le semis doit être décalé pour éviter la compétition. On peut en revanche éviter de retarder le semis de la plante de couverture (assurant ainsi une meilleure production de biomasse) en apportant une fertilisation (minérale et/ou organique) localisée au pied de la culture à favoriser.



Dans la pratique, le plus facile à maîtriser et mettre en œuvre est d'ajuster la date de semis et l'agencement des plantes dans l'espace.

La date de semis des plantes associées

La date de semis des plantes associées

Comme pour la culture principale, plus le semis des plantes associées est précoce, plus la production de biomasse (et éventuellement de graines) est élevée. Cependant, un semis précoce de la plante associée peut entraîner une compétition avec la culture principale et ce d'autant plus que la densité est importante. En fonction des conditions (climat, régime hydrique, fertilité) et des systèmes (et donc des plantes à associer), le semis de la plante de couverture en association à une culture peut se faire :

- **en même temps que la culture principale.** Le semis simultané est facile à réaliser, que ce soit manuellement ou mécaniquement, dans une parcelle facilement accessible. Il facilite l'installation rapide de la plante associée, ce qui permet de couvrir rapidement le sol, réduisant ainsi la pression des adventices et l'érosion. Le semis simultané augmente cependant le risque de compétition avec la culture, ce qui nécessite parfois des mesures pour éviter que la culture principale en pâtisse (utiliser une espèce/variété de cycle long, au démarrage lent, laisser un espacement entre plantes suffisamment im-

Le choix des itinéraires techniques

portant, contrôler éventuellement la plante de couverture en cours de végétation, etc.). L'installation simultanée de la culture avec une plante de couverture peut cependant compliquer le désherbage de la culture : l'utilisation d'herbicide ne peut se faire qu'avec un herbicide sélectif des différentes plantes, difficile à trouver, et le nettoyage manuel est très lent, devant se faire en prenant garde à ne pas endommager les plantules de la plante de couverture. Toutefois, dans certaines situations comme un climat à très longue saison sèche, avec une période de production très limitée, le semis simultané est parfois la seule solution pour permettre à la plante de couverture de produire une biomasse suffisante pour justifier son installation ;

- **quinze jours à un mois après le semis de la culture principale.** Le semis décalé permet de réduire fortement le risque que la plante associée entre en compétition avec la culture. Il permet aussi de faire un désherbage de la culture avant que la couverture ne soit en place, ce qui simplifie le désherbage, permet d'installer la couverture rapidement (lors du désherbage), sur des interlignes de la culture qui sont propres ;

- **en fin de cycle, dans le dernier mois du cycle de la culture principale** (en évitant d'entrer dans les parcelles à la période sensible de la floraison de la culture). Ce type de semis en "dérobé" permet d'installer une plante de couverture en "relais" de la culture principale, quand la succession de cultures est difficile à mettre en place mais qu'une période marginale peut être utilisée par la plante de couverture (à condition qu'elle soit implantée à temps, avant la récolte de la culture). Cette pratique est une variante intermédiaire entre association et succession de cultures (la plante en relais se développant plus en succession qu'en association avec la culture). Elle permet d'optimiser la production de la plante de couverture : après une phase d'installation (de quelques semaines) qui se fait sous la culture, la plante de couverture démarre rapidement dès la récolte de la culture. Le semis d'une plante en relais se fait généralement à la volée, un semis en ligne ou en poquets étant difficilement réalisable dans une culture à un stade avancé, sauf pour les cultures à faible densité (comme le maïs). Cette pratique est particulièrement intéressante dans le cas où la plante de couverture doit se "brancher" sur la nappe phréatique en début de saison sèche et où l'humidité du sol en surface est insuffisante après la récolte. Ce type de semis est aussi très intéressant en relais de plantes qui perdent leurs feuilles en fin de cycle (comme le soja) : les feuilles, en tombant, recouvrent les graines et facilitent leur germination, et la culture laisse passer la lumière pour les jeunes plantes de couverture.

L'installation de la plante associée en milieu de cycle de la plante principale est difficile à faire et ne présente en général pas d'intérêt. Elle ne peut pas se développer correctement du fait de l'ombrage par la culture principale, qui est censée ne pas laisser une lumière suffisante au développement de plantes (adventices) après 40 jours environ, et est trop affaiblie par un long séjour à l'ombre pour se développer après la récolte de la culture.

La date de semis des plantes associées

Le semis

La date de semis des plantes associées

De manière générale, décaler le semis des plantes associées de 15 jours à trois semaines par rapport au semis de la culture principale permet :

- de réduire fortement les risques de compétition (si la culture principale se développe bien) ;
- de produire une forte biomasse par la plante de couverture installée dans de bonnes conditions.

Cependant, un tel décalage n'est pas toujours nécessaire, et peut limiter inutilement la production de la plante de couverture associée.



Semis d'avoine en "dérobé" dans du soja, avant la chute des feuilles

Exemples sur la date de semis de la plante associée

Le stylosanthes qui démarre lentement peut être semé en même temps que le riz sans risquer de lui faire de la concurrence, sauf sur des sols dont la fertilité limitée ralentit fortement la croissance du riz. En pratique, sur tous les sols en année "zéro", il est préférable d'installer le stylosanthes lors du désherbage du riz (15 jours à trois semaines après semis). Il est en effet très difficile de réaliser un contrôle des adventices sans endommager des jeunes plantules de stylosanthes qui aurait été semé avec le riz.

Le choix des itinéraires techniques

L'agencement des plantes dans l'espace et les densités de semis

Le semis

L'agencement des plantes dans l'espace et les densités de semis

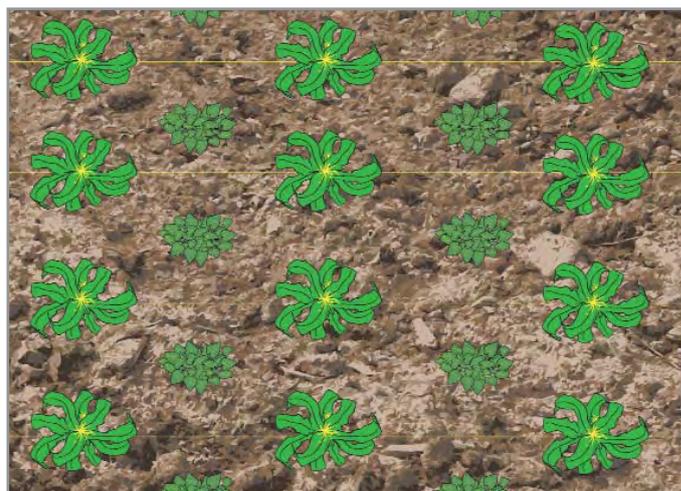
Outre le décalage des semis, l'agencement des plantes dans l'espace est un outil clef dans la gestion des associations. En jouant sur les espacements entre plantes, on peut faire en sorte que la culture principale puisse se développer sans compétition, et que les plantes associées puissent se développer, couvrir le sol et produire une forte biomasse.

L'agencement des plantes dans l'espace permet d'optimiser les productions.

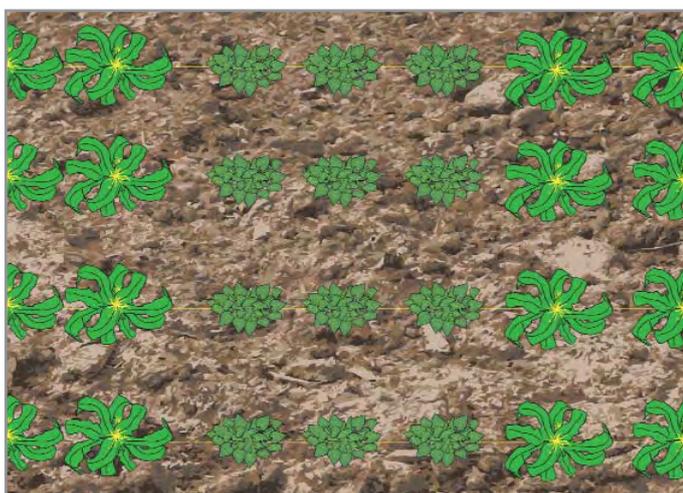
A densités égales, des plantes disposées en quinconce sont plus éloignées les unes des autres que des plantes semées "au carré". En conséquence, elles se font moins de concurrence, exploitent mieux les ressources et couvrent mieux le sol. Elles interceptent donc plus de lumière et produisent une plus forte biomasse. Un tel mode de semis est cependant très exigeant en travail (même s'il facilite par la suite la gestion des associations), et est très difficile à mécaniser.



*Semis en simples rangs
Plantes en lignes (au "carré")*



*Semis en simples rangs. Plantes en quinconce
Compétition réduite et meilleure couverture du sol*



*Semis en doubles rangs de la culture principale
Plus de lumière pour la plante associée
(qui peut être semée à plus forte densité)*

Toujours à densités égales, la culture en double rangs permet de favoriser le développement de la plante associée en lui apportant plus de lumière, sans pénaliser la culture principale. Un tel agencement facilite la gestion de l'association, réduit les temps de travaux pour son entretien et optimise la production (de graines et de biomasse). Son installation, quand elle est faite manuellement est exigeante en temps, mais elle peut être facilement mécanisée.

L'orientation des rangs peut aussi favoriser la plante associée: une orientation Est-Ouest des rangs (quand elle est compatible avec la pente) qui suit la course du soleil permet aux plantes associées sous la culture principale de recevoir plus de lumière qu'une orientation Nord-Sud.

Exemples sur l'agencement des plantes dans l'espace

Dans le Sud-Ouest malgache, l'association maïs + *Vigna umbellata* doit se faire à faible densité et en quinconce ou en doubles-rangs (de préférence), pour réduire la compétition pour l'eau, facteur limitant principal.

Du riz installé après écobuage d'un sol pauvre doit être installé sur les tranchées écobuées, et donc en doubles rangs. L'inter-rang peut recevoir une légumineuse, moins exigeante sur le plan de la fertilité.

Le choix des itinéraires techniques

Cas particuliers

Dans le cas de systèmes qui associent céréales et légumineuses, plantées en lignes ou en doubles rangs, les fonctions agronomiques principales remplies par ces systèmes varient d'une ligne à l'autre.

Quand ces associations se succèdent, il est important de décaler les lignes de semis d'une année sur l'autre, afin de cultiver la céréale sur les lignes de la légumineuse de l'année précédente, et inversement (sauf dans le cas où la céréale est plantée sur des lignes écobuées). Cette pratique permet de "casser" la monoculture sur la ligne et de faire bénéficier la céréale des apports d'azote par la légumineuse de la saison précédente. C'est le cas pour le système "passe partout" associant le maïs à une légumineuse volubile (dolique, niébé, *Vigna umbellata*).

Quand on souhaite installer en succession une culture pure, semée plus dense (comme le riz), la conduite du précédent cultural en doubles



Riz après maïs + cajanus en doubles rangs

rangs espacés peut poser problème. La gestion de l'azote en particulier devra être faite de manière à apporter cet élément préférentiellement sur les anciens rangs de la céréale, et en plus faible quantité sur les anciens rangs de la légumineuse. Pour les systèmes de culture alternant association (céréale + légumineuse) et culture céréalière pure, la conduite de l'association en simples rangs peut donc être préférable (surtout si l'apport d'engrais ne peut pas être localisé).

Dans le cas de mélanges de plantes de couverture, associant graminées et légumineuses, et semées en lignes, il est préférable d'alterner sur les lignes les plantes de couverture plutôt que de faire des lignes d'une seule espèce. Par exemple, pour l'association maïs + brachiaria + cajanus, il est préférable de faire deux lignes mélangées de brachiaria + cajanus entre deux rangs de maïs, plutôt que d'alterner des lignes de maïs, de brachiaria et de cajanus.

Le semis

Le mode de semis ou d'implantation des plantes associées

La répartition des plantes dans l'espace suppose que le mode de semis le permette et se fasse donc soit en lignes, soit en poquets. Le semis à la volée de la culture principale ne permet donc pas de gérer les associations de cultures par l'agencement des plantes dans l'espace. Il est avant tout réservé au semis de cultures "relais" en "dérobé" en fin de cycle de la culture, ou en succession.

Le bouturage est le seul mode d'implantation possible pour des plantes stériles (comme le Bana grass) et la manière la plus économique pour des plantes dont la production de semences est extrêmement coûteuse (comme les arachis pérennes).

L'implantation de plantes de couverture par boutures ou éclats de souches est exigeante en temps (difficilement mécanisable) et en matériel végétal, mais elle permet une reprise beaucoup plus rapide que par graines. Elle est très intéressante pour maximaliser la production de biomasse sur une période courte. En revanche, les risques de compétition sont accrus. L'espacement doit être augmenté et/ou le bouturage doit être retardé.

La profondeur de semis

La profondeur de semis optimale dépend de la taille de la graine (3 à 4 fois sa taille). Un semis profond retarde l'émergence et peut même conduire à la mort des plantules (et ce d'autant plus facilement que la graine est petite). Il doit être évité, sauf dans le cas où l'on souhaite semer une plante de couverture tôt (éventuellement en même temps que la culture principale) pour des raisons d'accessibilité à la parcelle, mais où la levée de cette plante ne doit pas être trop précoce pour éviter qu'elle entre en compétition avec la culture. Cette pratique nécessite cependant une bonne maîtrise technique du semis, et ne peut se faire qu'avec des plantes supportant un semis profond. Les brachiarias par exemple peuvent être semés en même temps que le riz pluvial, à 4-5 cm de profondeur.

Le mode de semis ou d'implantation des plantes associées

Exemple sur le mode d'implantation

Dans une association maïs + brachiaria sur les hautes terres, le semis par graines du brachiaria doit être réalisé deux à trois semaines après le semis du maïs. L'installation du brachiaria par boutures ou éclats de souches, avec un démarrage plus rapide, doit être retardée d'au moins deux semaines par rapport à un semis par graines (4 à 6 semaines après semis du maïs).

La profondeur de semis des plantes associées

Le choix des itinéraires techniques

Les variétés des plantes associées

Les variétés utilisées

Les caractéristiques des variétés des plantes de couverture doivent être prises en compte pour les “réglages” des paramètres du semis.

Le cycle et la vigueur au départ des variétés influencent fortement la gestion des associations :

- les variétés à démarrage rapide (vigueur au départ) et/ou cycle court sont plus compétitives en début de cycle que les variétés à cycle long et doivent être décalées dans le temps ou l'espace. En revanche, elles permettent de couvrir rapidement le sol (protection contre l'érosion et contrôle des adventices) et de maximiser la production de biomasse sur une période très courte. Elles sont également capables de compléter leur cycle dans des climats contraignants, à période de culture très courte ;

- à l'inverse, les variétés de cycle long, et/ou au démarrage lent risquent peu de concurrencer la culture, mais doivent être semées plus tôt et/ou plus denses que les variétés de cycle court si on souhaite couvrir le sol rapidement. Dans les climats à longue saison sèche, les cycles longs peuvent être favorables pour leur production en période marginale, à condition que ces plantes puissent utiliser l'eau profonde. Dans le cas contraire, il faut leur préférer des variétés à cycle plus court, capables de compléter leur cycle dans des conditions sèches.

Le port de la plante doit également être pris en compte :

- les variétés volubiles peuvent grimper sur les plantes associées et leur faire une forte compétition pour la lumière et/ou rendre la récolte difficile. Elles doivent être semées à distance des plantes cultivées, et/ou plus tard, surtout si leur cycle est court. A l'inverse des variétés érigées ou rampantes ne peuvent pas grimper sur la culture une fois que celle-ci les a dépassées, et peuvent être semées plus près des plantes cultivées et plus tôt ;
- les plantes érigées de grande taille interceptent la lumière des plantes de plus petite taille, qui risquent peu de faire de la compétition aux cultures.

On doit aussi s'intéresser :

- aux plantes au système racinaire puissant et au développement rapide (comme les brachiarias) qui sont très compétitives pour l'eau et les éléments nutritifs. Elles doivent être semées à distance des plantes cultivées, surtout en climat sec et/ou sur sols pauvres ;
- à certaines variétés qui supportent mieux que d'autres les conditions difficiles (engorgement, faible fertilité, ombrage, etc.).

Enfin, les variétés photopériodiques supportent mal un retard à l'implantation qui fait chuter rapidement leur production et les performances du système. De plus, elles ne peuvent pas être utilisées en contre-saison et doivent donc être associées aux cultures, sans possibilité de succession ou de culture en “relais”.

Exemples sur les variétés

Une variété de sorgho à pailles courtes comme l'IRAT 204 est plus facilement concurrencée par une légumineuse volubile qu'une variété de même cycle, mais de haute taille comme le BF 80 ou l'IRAT 202. Toutes ces variétés, de cycle court et photopériodiques, ne permettent pas d'utiliser l'eau profonde en contre-saison, contrairement à des sorghos à cycle long et non photopériodiques.

Le choix des variétés se fait dès le choix des systèmes de culture, en parallèle avec le choix des plantes à associer (espèces et variétés des cultures principales) et la détermination d'un itinéraire technique précis. Les caractéristiques des variétés choisies doivent rendre possibles les systèmes de culture et optimiser les productions. Les paramètres techniques du semis (dates, mode, agencement dans l'espace, densité, profondeur) sont adaptés aux caractéristiques des espèces et variétés, qui sont elles mêmes

Le semis



Maïs + *Vigna umbellata*, volubile



Maïs + niébé à cycle court, non volubile

Le choix des itinéraires techniques

choisies pour être compatibles avec l'itinéraire technique pressenti. Cependant, en cas "d'accident" (comme un retard au semis de la culture principale), les variétés et l'ensemble de l'itinéraire technique peuvent être changés pour s'adapter à la nouvelle situation (le système de culture lui-même doit parfois être modifié). Une modification de la variété juste avant semis est cependant difficile à réaliser en pratique (problème de disponibilité en semences de la variété adaptée). Quand elle n'est pas réalisable, on essaiera autant que possible de modifier les paramètres du semis pour permettre le système avec la variété initialement prévue. De la même manière, dans le cas où l'on n'a pas pu s'approvisionner (à temps) avec la variété initialement choisie, les paramètres techniques du semis (voire même les systèmes) devront être adaptés à la variété disponible qui sera utilisée.

Le semis

L'apport localisé de fertilisation au semis

L'apport (localisé) de fertilisation au semis

Les doses d'engrais à apporter au semis se raisonnent dans le contexte de la gestion de la fertilisation sur l'ensemble de la culture, et plus globalement dans le cadre de la gestion de la fertilité d'une parcelle dans le temps. Les niveaux de fertilisation à apporter en fonction des cultures et des sols sont présentés dans les fiches techniques détaillées (Volume III. Chapitre 4.). Ils sont fonction de différents facteurs, en interactions :

- les cultures mises en place ;
- les objectifs de production ;
- la fertilité des sols au moment du semis, qui est liée à la fertilité initiale du sol et aux précédents culturaux ;
- les moyens disponibles et le niveau de risque supportable ;
- les risques encourus (risque climatique, bioagresseurs, vols, etc.).

Si les apports d'azote doivent être équilibrés sur l'ensemble du cycle, les besoins en phosphore, potasse et oligo-éléments sont importants en début de cycle. Ces éléments doivent être apportés au semis, ou lors de la préparation de la parcelle.

De plus, un paillage en début de décomposition "consomme" de l'azote (utilisé par les bactéries pour amorcer les processus de minéralisation) dans un premier temps et peut entraîner une "faim" d'azote sur des cultures de céréales. Ce risque de blocage de l'azote est d'autant plus important que le paillage est composé de graminées et que sa dégradation est peu avancée. Dans ces cas là, un apport d'urée est indispensable au semis pour éviter que les cultures ne souffrent d'un manque très préjudiciable en début de cycle.

L'apport d'engrais minéral ou organique lors du semis peut se faire :

- en plein champ, de manière homogène : répartition des engrais organiques et/ou épandage à la volée des engrais minéraux, ce qui peut se faire manuellement, avec de petits épandeurs portables ou en culture mécanisée ; ou
- de manière localisée au pied des cultures pour favoriser leur croissance, ce qui améliore l'efficacité de la fertilisation et limite la compétition par les plantes de couverture ou les adventices. Le fumier (ou compost) et/ou les engrais minéraux sont alors appliqués au niveau des poquets (semis manuel) ou sous les lignes de semis (semis mécanisé). Positionner l'engrais à quelques centimètres sous les graines permet aux racines d'y accéder rapidement après la germination (mais semble nuire à la microflore). Il faut dans tous les cas éviter de mettre les engrais minéraux directement en contact avec les graines, ce qui pourrait leur causer des brûlures ;
- enrobage des semences ou pralinage des boutures.

L'apport d'engrais de manière localisée ou l'enrobage permettent de favoriser une plante par rapport à une autre et représentent un "outil" supplémentaire pour la gestion des associations de cultures. Sur des sols de basse fertilité, l'apport d'engrais localisé au pied de la culture, surtout si elle est exigeante, lui permet de se développer normalement et d'être plus compétitive.



Apport localisé au poquet de fumier et d'engrais

Le choix des itinéraires techniques

Les
traitements
de semences

Le semis

On peut ainsi semer plus dense et/ou plus tôt les plantes de couvertures associées, ce qui permet une couverture du sol plus rapide et une meilleure production de biomasse.

3.3. La réalisation du semis

Les traitements de semences

Levée de dormance

Les graines de nombreuses espèces présentent naturellement des dormances qu'il peut être nécessaire de lever avant le semis (en particulier si les semences sont utilisées rapidement après leur production). En fonction des espèces, la levée de dormance peut être faite par trempage prolongé dans l'eau (éventuellement chaude), scarification ou trempage dans un bain d'acide. Les conditions de ces traitements sont fonction des espèces et sont présentées dans les fiches techniques des plantes de couverture (cf. Volume III. Chapitre 3.). Une fois le traitement effectué, il est indispensable de procéder à un nouveau test de germination pour s'assurer de son efficacité.

Inoculation des semences (légumineuses)

La fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses se fait en association symbiotique avec des bactéries spécifiques (rhizobium). Lorsque l'on installe une nouvelle espèce de légumineuse sur une parcelle où elle n'avait jamais été cultivée, il est souvent nécessaire d'inoculer les semences de cette légumineuse avec une souche de rhizobium adaptée (variable selon les espèces, cf Volume III. Chapitre 2.). Cette inoculation peut se faire par épandage sur la parcelle de quelques kilogrammes de sol en provenance d'une zone où ces bactéries sont présentes, ou encore par inoculation des semences. Il suffit pour cela de se procurer le rhizobium adapté et de le mélanger avec les semences, dans un récipient adéquat, et en y ajoutant un "adhésif" (gomme arabique, miel, ou autre liant). Les rhizobia étant des organismes vivants, il est nécessaire de réaliser cette inoculation dans un endroit frais, à l'abri du soleil, et juste avant le semis (toutes les graines doivent être semées le jour même, en conditions humides). Ces graines ne doivent pas être traitées avec des substances toxiques (faire particulièrement attention en cas de nécessité de traitement insecticide ou fongicide à n'employer que des produits peu toxiques pour l'homme, comme le Thirame[®]), ni mélangées avec des engrais acides.

Enrobage des semences



Enrobage de semences de riz

L'enrobage des semences avec un engrais comme du phosphate naturel (thermophosphate, scories Thomas, Hyper Barren) de la dolomie, ou du calcaire et éventuellement des oligo-éléments est une méthode particulièrement efficace qui ne nécessite que des doses très faibles d'engrais (quelques kg/ha). Il modifie favorablement l'environnement immédiat de la semence (augmentation du pH) et permet ainsi une bonne installation des jeunes plantes. Il favorise également l'infestation des racines de légumineuses par les rhizobia et aide donc à l'établissement de la symbiose. Cet enrobage peut se faire très simplement en ajoutant ces engrais (pulvérulents) et oligo-éléments lors de l'inoculation des semences de légumineuses. Il peut aussi se faire par trempage des semences dans de l'eau (éventuellement prégermination de ces semences) puis mélange avec ces engrais. Comme pour l'inoculation, cet enrobage doit se faire juste avant le semis.

Traitement fongicide et/ou insecticide des semences

Les premières années de transition entre pratiques conventionnelles et SCV, il peut être nécessaire de protéger les cultures contre les attaques d'insectes et de champignons (fonte des semis sur les légumineuses en particulier). L'utilisation de pesticides étant à limiter autant que possible, le traitement des semences est une option efficace qui permet de réduire autant que possible leur impact sur l'activité biologique du sol et la santé des plantes. Ce traitement des semences se fait en mélangeant simplement les produits avec les semences, en prenant les précautions d'usage pour la manipulation de ces produits toxiques (l'usage de gants étant in-

Le choix des itinéraires techniques

dispensable). Pour les grandes quantités, des tambours mélangeurs (un simple fût dans lequel on a aménagé une ouverture, traversé par une manivelle désaxée et placé sur des pieds) sont très utiles.

Dans tous les cas, ce traitement ne doit pas être systématique mais être raisonné en fonction de la pression des bioagresseurs, de la sensibilité des plantes cultivées et du niveau d'intensification des cultures (l'utilisation d'engrais avec un objectif de rendement important par exemple rend indispensable le traitement sous une pression moyenne des bioagresseurs).

Le semis

Semis en lignes ou en poquets dans la paille

Le semis dans la paille se réalise en perturbant au minimum la couverture végétale et avec un déplacement de terre aussi réduit que possible. Ainsi, la simple ouverture de poquets avec un bâton ou une petite *angady* est suffisante pour y localiser les graines dans le cas d'un semis manuel. Les cannes planteuses permettent d'accélérer ce travail et de réduire la perturbation du sol qui n'est ouvert qu'à l'emplacement même de la graine.

Les semoirs mécanisés pour les grandes cultures fonctionnent en ouvrant la paille sur des lignes. Bien réglés, la perturbation du sol est minimale (moins de 3% de la surface).

La pression des outils (quels qu'ils soient, de l'*angady* au semoir mécanique) doit être ajustée de manière à positionner la graine dans le sol (et non pas dans la paille), à une profondeur adéquate (qui est fonction de sa taille principalement, mais peut aussi servir de "réglage" pour éviter les compétitions entre plantes en retardant la levée).

Semis à la volée

Pour les espèces à petites graines, le semis peut se réaliser à la volée, directement dans la paille. Cela peut se faire dans une culture (installation de plantes de couverture en fin de cycle, manuellement ou en utilisant un épandeur d'engrais), après la récolte ou encore durant la récolte dans le cas d'une récolte mécanisée (avec un recouvrement par la paille broyée et répartie de manière homogène sur la surface par la moissonneuse-batteuse). La quantité de semences à utiliser dans le cas d'un semis à la volée est plus importante que pour un semis en lignes ou en poquets, mais l'opération se réalise beaucoup plus rapidement.

La plantation par boutures et éclats de souches. Le "pralinage"

La plantation par boutures ou éclats de souches permet une reprise plus rapide des plantes que par graine. Elle est le seul mode d'implantation possible pour certaines plantes (comme le Bana grass qui est un hybride stérile) et le moins cher pour des plantes dont la production de semences est très coûteuse (comme l'*Arachis pintoï*).

De manière générale, l'implantation par boutures se fait en préparant des boutures avec au moins trois noeuds végétatifs (des "yeux"). Ces boutures sont implantées dans le sol où une ouverture a été simplement faite avec une petite *angady*. La bouture est installée dans cette fente avec deux yeux dans le sol, et un oeil ou plus au dessus de la surface du sol. La fente est refermée en appliquant une pression modérée avec le pied.

La technique est la même pour les éclats de souche (pour les graminées). Il suffit de déterrer les plants (avant floraison), de couper la partie aérienne à 20- 25 cm et d'éclater les souches, en gardant deux ou trois brins par éclat et en conservant les racines (coupées à 10-15 cm).

Pour faciliter la reprise des boutures ou des éclats de souche, il est intéressant de les "praliner" au moment de les mettre en terre. Pour cela, il suffit de mélanger dans un seau 1/3 d'eau, 1/3 de bouse de vache et 1/3

Le semis

Le semis



Tonneau mélangeur pour le traitement des semences
Photo : F.X. Chabaud

Plantation par boutures ou éclats de souches



"Pralinage" des boutures de *brachiaria*

Le choix des itinéraires techniques

de sol très argileux. On peut également y ajouter des oligo-éléments et des engrais minéraux, en particulier du phosphore (Hyper Barren, Di-Amonium Phosphate (DAP), etc.). Les boutures ou éclats de souche sont trempés dans ce mélange et directement installés dans le sol. Ce pralinage permet aux plantes de trouver un milieu favorable à leur développement, les racines étant directement en contact avec les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance. L'apparition des racines est accélérée (quelques jours seulement) et la reprise est améliorée.

3.4. Synthèse sur le semis

Le semis est une étape capitale de l'itinéraire technique, qui détermine le peuplement et conditionne la croissance des plantes pour l'ensemble du cycle (et peut même influencer le cycle suivant). La culture principale doit être semée le plus tôt possible, dès que les pluies utiles sont suffisantes pour assurer une bonne installation des plantes.

Dans le cas des associations de plantes, les risques de compétition entre cultures et plantes de couverture se gèrent en priorité par :

- la date de semis des plantes de couverture (en fonction de la date de semis de la culture principale, ce qui permet de décaler les plantes dans le temps) ;
- les densités de semis et l'agencement des plantes dans l'espace (qui permettent de décaler les plantes dans l'espace) ;
- le choix des variétés (cycle, port, exigences, etc. qui influencent de manière dynamique les relations entre les plantes, dans le temps et dans l'espace).



L'apport localisé de fertilisation, la profondeur de semis et le mode d'implantation des plantes de couverture permettent également de "régler" les paramètres du peuplement des différentes espèces et de réduire les risques de compétition.

Tous ces paramètres doivent être ajustés "en parallèle", pour aboutir à un peuplement optimal, maximisant le potentiel de production. Ils offrent des possibilités d'ajustements techniques qui doivent permettre de faire face aux diverses contraintes des exploitations rencontrées lors de la mise en place d'un système de culture.

Exemples de possibilités d'ajustement d'un système "passe-partout" : maïs + légumineuse volubile

Le système "maïs + légumineuse alimentaire volubile (dolique, niébé ou *Vigna umbellata*) est un système très intéressant : simple à mettre en œuvre, très profitable, à forte production de biomasse, etc.

L'itinéraire technique peut être adapté de différentes manières, pour un très grand nombre de situations :

- dans le climat sec et les sols relativement pauvres du Sud-Ouest malgache, le maïs est semé dès les premières pluies, à faible densité (1m x 1m). La légumineuse (dolique de préférence) est semée en même temps (35 000 poquets/ha), en quinconce ou doubles rangs, ce qui lui permet de s'installer correctement, sans concurrencer la céréale. La dolique "blanche" est très intéressante pour ses qualités gustatives, son cycle long et sa forte production de biomasse en saison sèche ;
- à moyenne altitude, sur des sols "moyennement riches", le maïs est semé aux premières pluies, à densité moyenne (20 000 poquets/ha), de préférence en doubles rangs (deux rangs de maïs espacés de 0,5 m tous les 2 m ; poquets distants de 0,5 m sur la ligne), ce qui permet une meilleure production de la plante associée (en particulier quand son semis est décalé). Le semis de la légumineuse se fait généralement en même temps que celui du maïs, avec une densité de 25 000 poquets/ha. Il peut cependant être nécessaire de décaler le semis de deux semaines en cas de faible fertilité du sol (sans application localisée d'engrais), si on utilise une variété de maïs de cycle relativement long ou si on installe comme plante associée une espèce/variété très volubile (*Vigna umbellata* par exemple) ;
- sur les hautes terres, cette association n'est possible qu'avec un niébé de cycle court (variété "David"), semé en même temps que le maïs afin qu'il puisse compléter son cycle avant la période froide. Le maïs est semé dès que possible pour les mêmes raisons (son cycle s'allonge rapidement quand les températures baissent). Les densités sont les mêmes qu'à moyenne altitude, et peuvent être augmentées sur sols "riches" (resserrement des rangs) ;
- dans le Sud-Est humide, le niébé est préférable aux autres légumineuses pour sa meilleure tolérance à l'engorgement. L'association se conduit comme à moyenne altitude, avec plus de latitude sur la date de semis.

Le choix des itinéraires techniques

3.5. Quelques erreurs à éviter au semis

Diverses erreurs, faciles à éviter, sont pourtant fréquentes, en particulier les premières années qui correspondent à la fois à l'apprentissage de ces techniques et à la phase de transition entre système conventionnel et SCV, les changements nécessitant un certain temps d'adaptation. Il suffit pourtant de bien programmer les activités, d'anticiper et d'être précautionneux dans la réalisation du semis pour :

Eviter de semer tardivement

Le semis tardif, très pénalisant est souvent dû à un retard dans la préparation de la campagne, en particulier pour l'approvisionnement en semences et la préparation de la parcelle. Il suffit donc d'anticiper la campagne pour être prêt à semer dès les premières pluies utiles.

Eviter de semer sur un sol humide quand les pluies ne sont pas encore installées

A l'inverse, en année "zéro", il faut éviter de semer sur un sol humide (ou de semer des semences pré-germées sur un sol sec) alors que les pluies ne sont pas encore suffisamment installées et qu'une période sèche est à craindre. L'humidité déclenche la germination mais la plantule se dessècherait rapidement en l'absence de pluies.

Eviter de semer des semences de mauvaise qualité

L'approvisionnement en semences doit être fait à temps. Il doit aussi être fait en s'assurant de la qualité du matériel végétal. Il faut donc disposer à temps des bonnes variétés, et vérifier le taux de germination de ces semences, suffisamment tôt pour être en mesure d'en changer si nécessaire (sans que cela ne retarde le semis).

Eviter de semer dans des parcelles "sales"

La préparation des parcelles doit se faire suffisamment tôt pour permettre un semis précoce. Il faut toutefois s'assurer, au moment du semis, que la parcelle est "propre", sans plantes en végétation qui ne soient pas suffisamment contrôlées (mauvais contrôle des vivaces ou repousses d'adventices annuelles entre leur traitement et la date du semis). Dans le cas contraire, il faut impérativement nettoyer la parcelle très rapidement (pour ne pas retarder le semis) et implanter les plantes cultivées dans de bonnes conditions, sans concurrence de plantes adventices.

Eviter de perturber le sol au semis

Les premières années "d'apprentissage" (quand l'importance de ce facteur n'est pas bien perçue), la crainte que la plantule ne puisse pas traverser un épais paillage, le manque de précaution et/ou la mauvaise maîtrise des outils de semis direct peuvent conduire à une perturbation importante du sol. Cette perturbation nuit au bon fonctionnement du semis direct et engendre en particulier une forte "pollution" par les graines d'adventices remontées en position de germination, qui complique grandement la maîtrise des adventices.

4. L'entretien des cultures

Le choix des systèmes, la préparation de la parcelle et le semis visent à mettre les plantes cultivées dans les meilleures conditions possibles (en particulier en contrôlant les adventices et assurant une bonne alimentation hydrique et minérale). Une fois le semis réalisé, l'entretien des cultures doit permettre de maintenir des conditions optimales. Ces interventions pendant la culture offrent des possibilités d'ajustement ou de rectification quand les conditions n'évoluent pas favorablement (erreurs à la mise en place, accidents climatiques, attaques de bioagresseurs, carences, etc.). Elles doivent être modulées en fonction de l'évolution réelle des cultures, et pour cela, nécessitent un suivi précis et régulier. Ce suivi porte en particulier sur l'évolution du peuplement, les carences et manques éventuels en éléments fertilisants, le développement des adventices et la pression des bioagresseurs. En cas d'apparition d'une contrainte importante, il est indispensable de réagir très rapidement afin de conduire les opérations pour la lever avant qu'elle n'ait un impact important sur les cultures.

Le semis

L'entretien
des cultures



Forte perturbation du sol au semis
Photo : Rakotondramanana

Le choix des itinéraires techniques

Le ressemis

4.1. Le remplacement des plantes manquantes après la levée

Pour optimiser la production de biomasse, fondamentale pour le bon fonctionnement du semis direct, il est important de ne pas laisser des "trous" dans les cultures. Ainsi, si après la levée on constate qu'elle est très mauvaise par endroits (mauvaises semences, "fonte" des semis, etc.), il est indispensable de ressemer les manquants. De la même manière, le ressemis est préconisé pour combler tout "vide" lié à un accident (destruction par des animaux, inondation localisée, etc.), même tardivement dans la saison. Ce ressemis peut se faire avec les mêmes espèces que le semis si on considère qu'il n'est pas trop tard et que la production de la culture est encore possible. S'il est trop tard, le ressemis doit se faire avec une ou des autres espèces (cultures à cycle plus court ou plantes de couverture).

L'entretien des cultures

Ce "comblement" des vides est indispensable non seulement pour assurer une forte production de biomasse nécessaire pour le semis direct, mais aussi pour ne pas laisser la place à des adventices qui produiront des graines et risquent ainsi de "polluer" les parcelles. Il est très facile à réaliser manuellement mais difficilement mécanisable.

Le démariage

4.2. Le démariage

A l'inverse, pour des cultures comme le maïs ou le sorgho, il est préférable de ne pas laisser en place un trop grand nombre de plantes qui entrent en concurrence pour les ressources (eau, éléments nutritifs, lumière). Quand la réalisation du semis a conduit à un peuplement trop important (plus de 2 pieds par poquet), il est recommandé d'arracher manuellement les plants les plus chétifs, pour ne garder, au niveau de chaque poquet, que les deux plants les mieux développés.

La fertilisation

4.3. La fertilisation

Le choix du niveau de fertilisation à appliquer se fait en prenant en compte un grand nombre de paramètres agronomiques et économiques, en interactions :



Carence en zinc sur riz pluvial

- la fertilité de la parcelle au moment de la mise en place de la culture (qui dépend de la fertilité initiale, de la remontée éventuelle de cette fertilité et des précédents culturaux) ;
- les espèces cultivées (dont le choix est lui-même largement déterminé par les possibilités d'apporter des engrais minéraux ou organiques) ;
- les objectifs de production (en liaison avec la plante cultivée et la fertilité du sol) ;
- les coûts des intrants.

La fertilisation se raisonne en début de campagne, dans son ensemble. L'essentiel de la fertilisation est apporté au semis (ou avant, sur la plante de couverture). En culture, l'apport est en général limité à un complément d'azote et, éventuellement, à des oligo-éléments quand des carences apparaissent. Ces apports, qui font partie du plan de fertilisation, peuvent/doivent être modulés en fonction des conditions réelles de réalisation de la culture. Ainsi, on peut décider en cours de culture :

- de renoncer à un apport complémentaire d'urée en cas d'"accident" (mauvais contrôle des adventices, attaques de bioagresseurs, etc.) qui a fortement limité le potentiel de production, ou, à l'inverse ;
- d'apporter des oligo-éléments quand le développement de la culture est limité par une telle carence ;
- d'augmenter les apports prévus en azote quand le développement des plantes est très bon mais peut encore être fortement augmenté par un tel apport (urée à la montaison du riz par exemple).

De tels apports, en cours de végétation ont l'avantage de se faire avec un risque limité, sur

Le choix des itinéraires techniques

La fertilisation

L'entretien des cultures

une culture à un stade déjà avancé, et peuvent avoir un impact très significatif sur la production totale (graine et biomasse).

La fertilisation optimale à apporter est cependant très différente s'il s'agit d'une parcelle en année "zéro" de préparation des SCV, en général avec un niveau de fertilité bas qu'il faut remonter, ou de parcelles en SCV installés, dans lesquelles les éléments nutritifs sont beaucoup plus disponibles, et dont la production stable doit simplement être entretenue.

Fertilisation en année "zéro" de préparation des systèmes SCV

En année "zéro" de préparation des SCV, la fertilisation à apporter doit permettre d'assurer une forte production de biomasse pour "amorcer la pompe" des SCV.

Le choix des associations et successions de cultures doit prendre en compte la fertilité initiale de la parcelle et les possibilités d'apporter des éléments fertilisants. Selon le coût de ces éléments fertilisants, et en fonction des espérances de rendement des différentes cultures sur les différentes unités agronomiques, on peut :

- soit cultiver une plante exigeante (comme le riz ou le maïs) après avoir remonté la fertilité (écobuage, apports d'engrais, etc.);
- soit cultiver des plantes capables de se développer sans apport de fertilisation (pois de terre, manioc) que l'on associe avec des plantes de couverture peu exigeantes, à forte production de biomasse.

Les apports minimum d'engrais qui permettent d'obtenir une biomasse suffisante pour installer convenablement des systèmes en SCV varient en fonction des milieux et des cultures.

De manière générale, la fertilisation n'est apportée que sur les plantes les plus exigeantes : riz et maïs. La pomme de terre, très exigeante, est fortement fertilisée et procure en général des bénéfices intéressants mais produit très peu de biomasse. En revanche, les plantes de couverture qui peuvent lui être associées (avoine en particulier) bénéficient largement de ces apports d'éléments fertilisants. Le soja peut être éventuellement fertilisé pour améliorer le rendement, mais il produit peu de biomasse.

Si l'espérance de rendement (cf. Volume V. Fiches techniques par système) ne permet pas de couvrir les coûts de la fertilisation, et qu'on ne peut se permettre d'amortir un tel investissement sur plusieurs années, les cultures à mettre en place doivent être changées pour des cultures moins exigeantes/risquées. Ainsi, riz et maïs ne doivent pas être cultivés sur des sols de *tanety* pauvres avant qu'ils n'aient été restaurés (écobuage ou plusieurs années de SCV).

Sur les *tanety* moyennement riches (y compris les *tanety* hydromorphes du Sud-Est), la fertilisation "basse" pour le riz ou le maïs correspond à 150 kg/ha d'engrais N-P-K (11-22-16) et 100 kg/ha d'urée, ce qui équivaut à 65 unités d'azote, 15 de phosphore et 20 de potasse par hectare.

Une fertilisation plus élevée (300 kg/ha d'engrais N-P-K et 100 kg/ha d'urée soit 80 unités d'azote, 30 de phosphore et 40 de potasse par hectare), quand elle est sécurisée, permet d'obtenir une production de biomasse et des rendements très supérieurs et "d'installer" rapidement le semis direct.

Sur les sols exondés dans les plaines, les bourrelets de berges et les *baiboho*, un simple apport d'urée (100 à 110 kg/ha soit environ 50 unités d'azote/ha) permet d'assurer une bonne production. Une fertilisation plus complète (100-20-15) renforce cependant la production et facilite la conduite des cultures en SCV la saison suivante.

Dans les *rizières inondées alluvionnaires*, les niveaux de fertilisation du riz sont les mêmes que sur les sols exondés.

Par contre, sur les *rizières inondées organiques*, il est nécessaire d'apporter du phosphore. La fertilisation minimale pour le riz est ainsi de 50-15-0, et une fertilisation plus complète correspond à 60-40-15.

Enfin, dans les *rizières très organiques (à tourbeuses)* du Sud-Est, l'ap-



Effet marqué de la fertilisation sur riz
Photo : H. Charpentier

Le choix des itinéraires techniques

La fertilisation

port de potasse en plus de l'azote et du phosphore est nécessaire. La fertilisation "basse" correspond à 50-15-20, et le niveau élevé est de 60-30-40.

En dessous de ces niveaux "bas" de fertilisation, la production de biomasse de ces cultures est très souvent trop faible pour permettre de conduire un semis direct dans de bonnes conditions l'année suivante.

Les plantes moins exigeantes comme le haricot ou le soja peuvent être cultivées sans engrais minéral mais nécessitent un apport de fumier (3-10 t/ha) sur les sols pauvres de *tanety*. Le soja, plus exigeant, valorise bien un apport d'engrais minéral (150 kg/ha de N-P-K). Ces cultures produisent une biomasse relativement faible. La production de biomasse doit être assurée avant tout par des plantes de couverture associées.

L'entretien des cultures

De manière générale, l'apport de fumier (ou à défaut de compost) permet un gain intéressant de production sur toutes les cultures, et est fortement recommandé.

Enfin, les plantes qui ont les plus faibles besoins (manioc, pois de terre) peuvent être cultivées sans engrais, en association elles aussi avec des plantes de couverture peu exigeantes, qui assurent la production de biomasse.

Si la biomasse produite en année "zéro" de préparation des SCV, avec ces niveaux de fertilisation, est insuffisante pour conduire des systèmes en semis direct dans de bonnes conditions, il faut reconduire les cultures avec un niveau de fertilisation identique, voire plus élevé, ou changer de système de culture afin de garantir la forte production de biomasse. A l'inverse, si la biomasse produite est suffisante et permet d'installer les systèmes en SCV dans de bonnes conditions, la fertilisation à apporter l'année suivante peut être réduite. Si la production de biomasse a été très élevée, il est même possible de se limiter à compenser les pertes par exportation, comme dans des systèmes en SCV bien installés.

Fertilisation "d'entretien" sur des parcelles en semis direct installé

Une fois la fertilité du sol restaurée, dans des systèmes en SCV bien installés, il est nécessaire de la gérer afin de ne pas épuiser les sols. Cela se fait :

- en cultivant en associations ou successions des plantes complémentaires, qui n'ont pas toutes les mêmes besoins et qui assurent des fonctions agronomiques différentes (légumineuses pour la fixation d'azote, graminées pour une restructuration du sol et le recyclage d'éléments nutritifs lixiviés en profondeur, etc.); et
- en restituant au sol les éléments nutritifs exportés.

Mis à part sur des sols exceptionnellement riches, il est indispensable de restituer au sol un minimum d'éléments fertilisants (engrais organiques et/ou minéraux), pour compenser les exportations par les cultures ou fourrages. En l'absence d'une telle restitution, la production se fait nécessairement aux dépens du sol qui s'appauvrit progressivement (d'autant plus vite que les rendements et les exportations sont élevés). Cette fertilisation limitée (qui peut être ajustée en fonction des bénéfices de l'année précédente) est une précaution importante pour conserver durablement la fertilité des sols.

Le calcul des quantités d'engrais à apporter pour compenser les exportations de l'année précédente se fait sur la base des exportations moyennes des cultures concernées, proportionnelle à leur production.

Le tableau suivant donne à titre indicatif les valeurs des exportations d'éléments nutritifs par diverses plantes (synthèse bibliographique). Il montre une forte variabilité de ces exportations. L'utilisation de la médiane (indiquée en rouge) permet d'obtenir une évaluation grossière des éléments nutritifs à apporter pour compenser les pertes par exportation. Ce tableau montre également l'importance des quantités exportées par les pailles si elles ne sont pas restituées à la parcelle, en particulier en ce qui concerne la potasse.



Bonne alimentation du maïs qui bénéficie de l'azote apporté par la couverture vive d'arachis

Le choix des itinéraires techniques

Cas particulier

Un précédent associant graminée(s) et légumineuse(s) comme maïs + légumineuse alimentaire volubile, plantées en lignes ou en doubles rangs, conduit à une forte irrégularité de la disponibilité en azote. La légumineuse a apporté une forte quantité d'azote au sol, et se décompose rapidement, alors que la graminée n'a pas fixé d'azote et se décompose lentement, avec les risques de "faim d'azote" que cela entraîne.

Pour une culture de céréale ou de cotonnier, l'engrais azoté (urée) doit être apporté (en particulier au semis) majoritairement sur les bandes qui ont reçu la graminée durant le cycle précédent, pour compenser la faible disponibilité locale en azote (surtout en début de cycle).

Exportations moyennes des éléments nutritifs par les cultures

L'entretien des cultures

Exportations d'éléments nutritifs par les cultures	N (kg/tonne)	P (kg/tonne)	K (kg/tonne)	Ca (kg/tonne)	Mg (kg/tonne)	S (kg/tonne)
Riz (paddy)	12 - 16 - 20	2 - 3,5 - 5	1 - 2,5 - 4	0,5 - 0,75 - 1	1	15 - 17,5 - 20
Riz (paille)	10 - 12,5 - 15	1 - 1,5 - 2	15 - 25 - 35	3 - 3,5 - 4	2 - 2,5 - 3	
Maïs (grains)	15 - 20 - 25	3 - 3,5 - 4	2 - 3,5 - 5	0,2	0,5 - 0,75 - 1	2,5 - 3,75 - 5
Maïs (paille)	13 - 14 - 15	1 - 1,5 - 2	15 - 22,5 - 30	1 - 1,25 - 1,5	0,5 - 0,75 - 1	1
Sorgho (grains)	13 - 16,5 - 20	3 - 3,5 - 4	1 - 2,5 - 4	0,3	1,5	
Mil (grains)	15 - 17,5 - 20	2 - 4 - 6	4 - 4,5 - 5	0,2	1,5	
Blé (grains)	20 - 27,5 - 35	3,5 - 4 - 4,5	2 - 7 - 12	1 - 2 - 3	1 - 2 - 3	3
<i>Brachiaria ruziziensis</i> (fourrage)	10 - 20 - 30	1 - 2,5 - 4	8	2 - 3,5 - 5	2	1
Soja (graines)	50 - 75 - 80 *	5 - 8 - 11	15 - 17,5 - 20	3 - 9 - 15	2 - 5,5 - 9	5 - 7,5 - 10
Arachide (graines)	40 - 45 - 50 *	2 - 4 - 6	4 - 6 - 8	0,3	1,5	
Haricot (graines)	35 - 37,5 - 40 *	4 - 4,5 - 5	18 - 21,5 - 25	2 - 3 - 4	2 - 3 - 4	10
Vesce (total)	25 - 27,5 - 30 *	3	10			
<i>Stylo. guianensis</i> (fourrage)	25 - 27,5 - 30 *	2 - 2,5 - 3	10 - 20 - 30	10 - 15 - 20	3 - 3,5 - 4	1,5
Pomme de terre (tubercules)	3 - 4,5 - 6	0,5 - 1,75 - 2	2 - 4,5 - 6		1	2
Manioc (tubercules)	2 - 4,5 - 5	0,4 - 0,7 - 1	1 - 3,5 - 6	0,5	0,25	
Patate douce (tubercules)	4 - 5 - 6	1	4 - 5,5 - 7			
Coton (graines)	20 - 22,5 - 25	5 - 7,5 - 10	10 - 15 - 20			
Tomate	1 - 1,5 - 2	0,2 - 0,35 - 0,5	1 - 1,25 - 1,5			
Choux	3 - 4 - 5	0,5 - 0,75 - 1	1,5 - 1,75 - 2			
Arbres fruitiers (fruits)	3 - 4 - 5	0,5 - 0,75 - 1	2 - 3,5 - 5			

* Azote fixé par les légumineuses 12 - **16** - 20: Valeur basse - **Médiane** - Valeur haute

Pour obtenir l'équivalent en P₂O₅, K₂O, CaO, MgO et SiO₂, multiplier respectivement: P par 2,29; K par 1,2; Ca par 1,4; Mg par 1,66 et S par 2.

Le choix des itinéraires techniques

La fertilisation

Pour comparaison, toujours à titre indicatif, les apports en éléments nutritifs d'un fumier de bovin frais varient (fortement) entre 3 et 15 (8 en moyenne) kg de N par tonne de fumier frais (environ deux fois plus pour un fumier sec), 0,5 et 3 (1,5 en moyenne) kg de P/tonne de fumier frais et 2 à 11 (6,5 en moyenne) kg de K/tonne de fumier frais. La fiente de volaille est plus riche en azote (11 kg/tonne de matière fraîche) et phosphore (4 kg/tonne) mais moins riche en potasse (3,5 kg/tonne).

Périodes d'application des engrais

Les premières années, l'essentiel des engrais doit être appliqué sur les cultures principales. De manière générale, tous les apports d'engrais organiques et les apports d'engrais peu solubles (phosphates naturels, etc.) se font au moment du semis. Les apports de phosphore et de potasse se font également au semis, la plante en ayant un besoin important en début de cycle principalement. L'apport d'oligo-éléments se fait de préférence au semis quand des risques de carences importants ont été diagnostiqués, ou éventuellement dès l'apparition de symptômes de carence (quand ces carences n'étaient pas prévisibles).

Seuls les apports d'engrais azotés sur les graminées sont fractionnés du fait de leur grande solubilité, des risques de pertes par lixiviation, des risques de déséquilibre de la physiologie des plantes par des apports trop importants et des besoins des plantes étalés sur l'ensemble de leur développement végétatif du semis à la floraison.

Une partie est apportée au moment du semis, représentant environ 1/3 à 1/2 des apports totaux d'azote. Le reste est à fractionner en fonction des plantes et de leur gestion : après chaque fauche pour une plante fourragère, au tallage et à la montaison pour le riz, au début de la floraison mâle pour le maïs, etc. Ces apports sont à moduler en fonction de l'état végétatif des plantes et de la conduite générale des cultures. Un apport supplémentaire d'azote peut être très profitable (et est peu risqué) dans une culture bien conduite, sans accidents, mais qui semble manquer d'azote. A l'inverse, il n'est pas raisonnable d'appliquer des engrais sur une culture mal engagée (semis très tardif, envahissement d'adventices pas maîtrisées, etc.) dont le potentiel de rendement est faible.

Dans le cas d'un semis de céréale dans un paillage constitué essentiellement de graminées, un minimum de 30 kg/ha d'azote (de préférence 50 kg/ha) doit être apporté

au semis pour éviter le risque de blocage d'azote par le paillage en début de décomposition.

Après quelques années de semis direct bien installé, l'optimisation agronomique des engrais passe par une fertilisation des plantes de couverture (pour les successions cultures/plantes de couverture) qui la valorisent très bien en produisant une forte biomasse, recyclent et mobilisent de nombreux éléments nutritifs et les restituent dans la couverture/litière. La culture principale installée sur cette biomasse bénéficie alors des améliorations du sol et de la fertilité accumulée dans la biomasse. L'apport de deux tiers des engrais sur les plantes de couverture pour un tiers directement au moment de la culture permet un fonctionnement optimal des systèmes en SCV.

Equilibre entre éléments minéraux

Les plantes ont besoin d'une alimentation équilibrée. De plus, les éléments minéraux interagissent entre eux et leur absorption par les plantes dépend des concentrations relatives d'un élément par rapport à un autre. L'antagonisme le plus connu est celui entre les éléments majeurs : l'excès d'azote ou de phosphore bloque l'absorption de la potasse par la plante. Un excès d'azote bloque aussi de nombreux oligo-éléments (B, Cu, Zn, S, Fe, etc.) et il existe de très nombreux antagonismes entre oligo-éléments et éléments majeurs. Le phosphore par

L'entretien des cultures

Exemple sur la fertilisation

Dans un système en SCV bien installé, après un riz ayant produit 4 t/ha, les éléments majeurs à apporter pour compenser les exportations sont d'environ 64 N, 14 P et 10 K, soit 64 N, 32 P₂O₅ et 12 K₂O.

En fonction des engrais disponibles, on peut apporter par exemple 70 kg/ha de DAP (18 % de N et 46 % de P₂O₅ soit 12,6 N et 32 P₂O₅), 112 kg/ha d'urée (46 % de N soit 51,5 N) et 20 kg/ha de KCl (60 % de K₂O soit 12 K₂O).

Si on ne dispose que de N-P-K (11 N-22 P₂O₅-16 K₂O) et d'urée, il faut apporter 145 kg/ha de N-P-K (soit 16 N, 32 P₂O₅ et 23 K₂O) pour apporter suffisamment de P, et compléter avec 105 kg/ha d'urée pour retourner l'azote exporté par le riz. On apporte dans ce cas deux fois plus de K que nécessaire !

Le choix des itinéraires techniques

exemple est bloqué par un excès de manganèse, de fer ou d'aluminium (Al^{3+}). Il existe aussi des synergies, comme le magnésium qui est plus facilement absorbé quand le phosphore et l'azote sont présents en quantité, et qui facilite l'absorption du phosphore.

Il est donc fondamental d'apporter une fertilisation équilibrée, corrigeant si nécessaire les déséquilibres du sol (avec éventuellement un amendement en année "zéro"). En pratique, la diversité des plantes (capables de mobiliser divers éléments quand ils sont peu solubles) dans les systèmes SCV, la fertilisation des systèmes plantes/sol dans leur ensemble et, quand cela est possible, la diversification des engrais employés, facilitent l'obtention et le maintien d'un tel équilibre.

Quelques erreurs à éviter concernant la fertilisation

Eviter d'apporter une fertilisation insuffisante pour le système choisi

En année "zéro" de préparation des SCV, sur des sols peu fertiles, la principale erreur à éviter est d'apporter une fertilisation insuffisante pour en permettre une bonne valorisation et assurer une forte production de biomasse avec le système choisi. Face au coût des engrais, la tentation est souvent forte de réduire la dose, mais cette "solution" est très risquée si on descend en dessous d'un seuil minimum, nécessaire pour assurer une production qui puisse rentabiliser la fertilisation apportée, ou au moins produire une biomasse qui permette de cultiver par la suite en SCV dans de bonnes conditions (la fertilisation est alors vue comme un investissement à moyen terme dans ces systèmes). Si l'investissement dans ce niveau minimum nécessaire pour faire fonctionner le système est trop important ou trop risqué, il faut absolument changer de système pour un système moins exigeant, qui assurera la production de biomasse nécessaire avec moins (ou sans) apports d'engrais.

Eviter de faire "l'économie" d'un apport d'azote sur un paillage de graminées

Un paillage de graminées en début de décomposition immobilise dans un premier temps de l'azote. Sur un tel paillage, ne pas apporter d'azote en début de cycle (au semis) pour une culture de céréales ou de cotonnier entraîne un fort risque de "faim d'azote", très préjudiciable à la culture. Il est donc indispensable d'apporter de l'azote au semis si ce paillage n'a pas été traité suffisamment tôt pour éviter le blocage.

Eviter de maintenir une fertilisation forte sur un système installé en retard ou sans maîtrise des adventices

Une autre erreur à éviter est de maintenir une fertilisation importante programmée sur un système quand les conditions de réalisation font que le semis est fait tardivement. Un semis tardif augmente le risque climatique (d'autant plus fortement que le climat est contraignant). Au delà d'une certaine date limite, le risque devient trop important et ne peut être supporté. Il faut le réduire, en baissant le niveau de fertilisation (et les objectifs de production) si cela est possible (c'est à dire si une production de biomasse suffisante pour entretenir le semis direct est possible dans ce système, avec un niveau de fertilisation bas), ou en changeant de système si nécessaire.

De la même manière, un apport de fertilisation ne doit pas être fait si les moyens de contrôler les adventices (qui profitent aussi de la fertilisation) ne sont pas disponibles.

4.4. Le contrôle des adventices annuelles

En culture pluviale, sur *tanety* et de façon très marquée sur les sols riches comme les *bai-boho* et dans les rizières à mauvaise maîtrise où une lame d'eau ne peut être maintenue, la pression des adventices s'exerce fortement.

Le contrôle des adventices se raisonne sur l'ensemble du système de culture : choix des cultures, associations et successions, et différentes opérations de l'itinéraire technique. De manière générale, le contrôle des adventices annuelles dans des systèmes SCV installés se fait

La fertilisation

L'entretien des cultures



Fortes carences sur le maïs en compétition avec les adventices non maîtrisées

Le contrôle des adventices

Le choix des itinéraires techniques

Le contrôle des adventices

assez simplement par :

- la non perturbation du sol, ce qui maintient les graines en conditions peu favorables à la germination ;
- le maintien d'une couverture végétale permanente, morte ou vivante, qui empêche la levée ou "étouffe" les adventices ;
- la réduction progressive du stock de graines et, éventuellement ;
- les effets allélopathiques des plantes utilisées en couverture.

Dans des systèmes SCV bien installés, le contrôle des adventices ne demande donc pas, en général, de mesures particulières après la mise en place de systèmes de culture appropriés, sur une couverture végétale bien contrôlée.

En revanche, le contrôle des adventices peut être problématique en année "zéro" de prépa-

ration des SCV, quand la couverture végétale n'existe pas encore, ou après un "accident" (production insuffisante, feu, divagation d'animaux, etc.) qui a fait que la couverture maintenue au sol n'est pas suffisante pour assurer le contrôle des adventices la saison suivante. Dans ces cas là, des mesures particulières doivent être mises en place pour assurer la maîtrise des plantes indésirables, sans altérer le bon fonctionnement des systèmes en SCV. Pendant ces années de transition des systèmes conventionnels vers des systèmes en SCV bien installés, les adventices sont un des problèmes majeurs à gérer.

Un des éléments clés du contrôle des adventices annuelles dans ces cas là est le choix du système de culture. Le choix de cultures/associations dont l'entretien est relativement facile, qui permettent une forte production de biomasse et qui sont capables de contrôler naturellement les adventices (maïs + légumineuse ou manioc + stylosanthes par exemple), facilite l'entretien des cultures le temps de produire une forte biomasse, qui contrôlera les adventices la saison suivante.

Au delà du choix des cultures et associations à mettre en place, le travail du sol en année "zéro" peut constituer un des éléments de la lutte contre les adventices en l'absence de biomasse pour couvrir le sol. Il contribue à réduire leur pression en tuant les plantes annuelles déjà levées. Il a cependant l'inconvénient de remettre en condition de germination des graines enfouies et de multiplier végétativement certaines plantes vivaces à rhizomes ou stolons.

Il ne permet donc pas à lui seul de maîtriser l'enherbement et doit être complété par d'autres mesures au semis et/ou après la levée.

Dans des systèmes SCV installés, mais après un "accident" n'ayant pas permis de maintenir une couverture du sol suffisante, le recours au labour doit par contre être évité autant que possible car il a en plus l'inconvénient d'accélérer la minéralisation de la litière reconstruite par les SCV des années précédentes, et d'en faire perdre rapidement les acquis.

Ainsi, que ce soit après travail du sol ou en semis direct avec un paillage peu épais, des mesures de contrôle des adventices doivent être anticipées, et ce d'autant plus :

- que la pression des adventices est forte ;
- que la culture est sensible à la compétition des adventices ; et
- qu'elle rend difficiles les interventions : le désherbage manuel

L'entretien des cultures

En cas de biomasse insuffisante...

Si après une année "zéro" de préparation des SCV la biomasse produite ne paraît pas suffisante pour contrôler les adventices dans la culture suivante, une bonne solution consiste à reconduire un système de culture facile à entretenir et à forte production de biomasse (comme maïs + dolique par exemple). L'arrachage manuel ou un léger sarclage permet alors de contrôler les adventices à moindre coût, sans engendrer une perturbation trop importante du sol. La forte biomasse produite (et éventuellement les effets allélopathiques des plantes utilisées) assurera la maîtrise des adventices pour la culture suivante, qui peut alors être une plante plus difficile à désherber (comme le riz). De la même manière, après un "accident" qui conduit à une faible couverture du sol, il est très intéressant de "recharger" les systèmes SCV par la mise en place d'un système de culture facile à désherber et à forte production de biomasse.



Contrôle des adventices par la couverture végétale
Photo : K. Naudin

Le choix des itinéraires techniques

du riz pluvial par exemple est nettement plus exigeant en temps que celui du maïs.

Ce contrôle peut s'effectuer de plusieurs manières, en fonction des moyens disponibles et des contraintes :

Apport de paillage

Si de la biomasse est disponible à proximité des parcelles (on peut éventuellement concentrer la biomasse sur une partie de la parcelle), on peut l'utiliser pour créer un paillage qui aide à contrôler les mauvaises herbes. Il faut pour cela que le paillage soit suffisamment important pour couvrir totalement le sol au moins pendant les 45 premiers jours de culture. En revanche, si le paillage n'est pas suffisant (ou qu'il se décompose trop vite), les mauvaises herbes peuvent se développer, profitant même de l'amélioration de la fertilité du sol.

Un apport de paille sur la parcelle représente cependant un travail considérable (d'autant plus important que la paille doit être transportée sur de longues distances), parfois difficile à réaliser au moment de la mise en place des cultures (surtout si la parcelle a été travaillée traditionnellement) et n'est possible que si de la biomasse est disponible à distance raisonnable.

Arrachage ou sarclage

En semis direct, sur un mulch peu épais qui a laissé pousser les adventices, le sarclage (qui travaille le sol en surface) doit être limité autant que possible. Si les adventices sont peu nombreuses et/ou sur de petites parcelles, il est préférable de faire un arrachage des plantules à la main, sans perturber la surface du sol pour bénéficier des avantages du semis direct. Ce travail d'arrachage est toutefois très exigeant en temps (en particulier sur des cultures difficiles d'entretien comme le riz) et ne peut pas toujours être réalisé à temps. Il peut être alors préférable de recourir au sarclage, quand aucun autre moyen de maîtriser les adventices n'est accessible à l'agriculteur.

Pour des cultures relativement faciles à désherber comme le maïs, l'arrachage doit être envisagé de préférence au sarclage, même sur de grandes parcelles, à condition qu'une main d'oeuvre suffisante soit mobilisable au moment voulu.

Utilisation d'herbicides de pré- ou post-levée

L'intérêt d'utiliser des herbicides, et donc le choix de la stratégie de lutte contre les adventices est fonction :

- de la pression des adventices (et donc du milieu) ;
- du type de culture (certaines cultures comme le riz sont plus difficiles à désherber et supportent moins bien la compétition que d'autres comme le maïs par exemple) ;
- de la disponibilité et du coût de la main d'œuvre ;
- de la disponibilité et du coût des herbicides.

Les herbicides ont l'avantage de permettre un bon contrôle des adventices mais sont coûteux.

Les herbicides de pré-levée doivent être appliqués de manière systématique (avant de connaître la pression exacte des adventices), dans des conditions d'application restrictives (rapidement après le semis, sur un sol humide). Leur sélectivité, relativement bonne, peut être fonction des conditions d'application (des conditions climatiques qui ralentissent la levée comme une sécheresse peuvent conduire à des toxicités sur la culture). De plus, leur efficacité est réduite dans des systèmes SCV installés du fait de la couverture végétale et du taux élevé de matière organique.

Les herbicides de post-levée ont l'avantage d'être appliqués en fonction de la pression exacte des adventices, avec possibilité d'application localisée, et dans des conditions d'application moins contraignantes que les herbicides de pré-levée. Ils sont toutefois très difficilement uti-

**Le contrôle
des adventices**

**L'entretien
des cultures**

Sarclage, buttage et billonnage

En semis direct, le sarclage doit être évité autant que possible les premières années, et est proscrit dans des systèmes SCV bien installés (d'autant plus qu'il n'est plus utile).

Billonnage et buttage sont eux totalement exclus, que ce soit en préparation de parcelle ou durant l'entretien des cultures (cas du buttage des cultures lors du sarclage par exemple). Ils sont inutiles (la structure du sol sous SCV permettant un bon développement des plantes qui font l'objet de ces pratiques en systèmes conventionnels), engendrent une perturbation du sol (avec les effets négatifs que cela entraîne), et ils constituent une gêne importante pour la mise en place de la culture suivante en semis direct (irrégularité du terrain qui empêche la mécanisation du semis et complique la mise en place manuelle).

Le choix des itinéraires techniques

Le contrôle des adventices

lisables sur des associations de plantes aux caractéristiques différentes et leur sélectivité dépend des conditions d'application, pouvant engendrer une toxicité et avoir un impact sur la santé des plantes.

Le nombre réduit de matières actives homologuées à Madagascar limite cependant les possibilités de lutte chimique contre les adventices, en particulier pour certaines cultures ou associations de cultures. Même lorsque les herbicides sont disponibles, les faibles ressources des paysans ne leur permettent pas toujours de les acheter et ils ne peuvent être proposés que si leur rentabilité économique est très forte et/ou si la main d'œuvre disponible ne permet pas de contrôler les mauvaises herbes efficacement.

De plus, l'impact négatif des herbicides sur la santé des plantes (perturbation de la synthèse des protéines, les herbicides n'étant pas totalement sélectifs des cultures) fait que l'utilisation de ces produits en cours de culture (pré ou post-levée) doit être limitée autant que possible.

Les possibilités et l'intérêt d'utiliser des herbicides varient donc en fonction des situations et des cultures :

Pour la culture du riz

Le riz est l'une des cultures les plus difficiles à désherber, d'autant plus qu'elle se conduit souvent dans des milieux à forte pression des adventices. Ainsi, l'utilisation d'herbicides est particulièrement recommandée dans les rizières à mauvaise maîtrise d'eau où une nappe d'eau ne peut être maintenue en début de cycle, et sur les *baiboho* (en l'absence d'un paillage suffisant pour réduire la pression des adventices).

Dans ces milieux, la gestion des plantes à feuilles larges et cypéracées annuelles peut se faire par application de 2,4-D Amine (720 à 1 080 g/ha), au minimum 25 jours après la levée du riz (risque de phytotoxicité sur les plants jeunes). Plus les adventices sont âgées, plus elles deviennent résistantes ce qui suppose d'augmenter la dose. Au stade plantule des adventices, une dose plus faible (360 g/ha) est suffisante et les risques de phytotoxicité sur le riz en sont réduits.

Cet herbicide de post-levée a l'avantage de ne s'appliquer que si nécessaire, d'être très peu cher (moins de 6 000 ariary/ha = 2,3 euros/ha pour une dose de 720 g/ha) et de contrôler un grand nombre de dicotylédones.

Pour le cas de parcelles à forte infestation de cypéracées vivaces avec organes de réserves (*Cyperus rotundus*, *Cyperus esculentus*) particulièrement difficiles à contrôler, leur émergence est retardée par un paillage épais. L'application de bentazone dans ces conditions permet de contrôler ces plantes suffisamment longtemps pour que le riz soit capable de les dominer. Cet herbicide n'est malheureusement plus disponible à Madagascar.

Exemple d'herbicide de pré-levée

Dans le Moyen-Ouest malgache, la très forte pression du *Rottboellia cochinchinensis* sur les *tanety* et la faible disponibilité de la main d'œuvre font que les paysans apprécient fortement l'utilisation de pendiméthaline, appliqué en pré-levée du riz pluvial.

En ce qui concerne les graminées annuelles, il n'existe pas d'herbicide de post-levée sélectif du riz qui puisse les contrôler et qui soit homologué à Madagascar (dans l'attente du cyhalofop-butyl qu'il serait très intéressant de pouvoir importer). Dans le cas où la pression de ces graminées annuelles est forte, il est recommandé d'appliquer, en pré-levée, du pendiméthaline, qui contrôle ces adventices, ainsi que certaines plantes à feuilles larges. La dose moyenne d'application du pendiméthaline est de 1 500 g/ha (coût : 75 000 ariary/ha = 28,3 euros/ha). Cependant, en cas de pression extrêmement

forte de plantes comme *Echinochloa sp.* et surtout *Ischaemum rugosum* que l'on peut estimer en fonction du nombre de graines présentes au sol, il est nécessaire d'augmenter la dose à 2 500 g/ha (coût : 125 000 ariary/ha = 47 euros/ha). Un autre herbicide de pré-levée intéressant est l'oxadiazon qui utilisé à 1 000 g/ha permet de contrôler la plupart des graminées et des plantes à feuilles larges, tout en étant sélectif de certaines légumineuses cultivées.

Outre leur coût élevé (et leur impact sur l'environnement), ces herbicides ont l'inconvénient d'être des herbicides de pré-levée, qui doivent être appliqués le jour du semis (quand on ne connaît pas encore quelle sera la pression exacte des adventices, et donc parfois inutilement) et sur sol humide. Cette plage réduite d'application peut poser des problèmes pour la culture

Le choix des itinéraires techniques

en grandes surfaces en cas de climat aléatoire, même s'il est possible de les utiliser en post-levée précoce. Cependant, dans des milieux à forte infestation par des graminées annuelles, le désherbage manuel ou mécanique est extrêmement difficile à faire efficacement et demande énormément de travail. L'intérêt d'utiliser un herbicide est accru.

Sur *tanety* où la pression des adventices est souvent moindre qu'en rizières ou que sur les *baibo*, l'utilisation d'herbicides n'est pas aussi recommandée que dans ces milieux "riches".

En cas d'infestation par des dicotylédones, l'utilisation, peu coûteuse, de 2,4-D anime (720 à 1 080 g/ha) en post-levée est très profitable.

Pour le contrôle des graminées sur *tanety*, le recours au pendimethaline, très coûteux (même à 1 500 g/ha) par rapport au potentiel de production, ne se justifie que dans certaines situations où la pression d'adventices du type *Digitaria horizontalis* ou *Rottboellia cochinchinensis* est très forte et ne peut être contrôlée par sarclage ou arrachage. Le coût élevé de cet herbicide réduit cependant la rentabilité de la culture du riz pluvial sur des milieux à forte pression de graminées, et il est préférable de conduire d'abord une culture plus facile à désherber, comme le maïs associé à une légumineuse.

Pour la culture du maïs (ou du sorgho)

La culture de maïs (ou de sorgho) pur peut être désherbée chimiquement avec des molécules telle l'atrazine. Cependant, la culture de maïs (ou de sorgho) en pur, sans association, ne fait pas partie des systèmes recommandés dans ce manuel, les associations permettant d'augmenter les revenus et la production de biomasse (et ainsi d'alimenter le « moteur » du semis direct).

En cas d'association avec une graminée (*Brachiaria sp.* ou *Eleusine coracana* en particulier), l'utilisation de 2,4-D (540-720 g/ha en fonction du stade des adventices) est possible et très rentable pour contrôler les dicotylédones. L'utilisation d'atrazine à dose réduite (0,5 à 1 kg/ha, à adapter localement en fonction du sol et du climat) est également possible pour une association maïs + brachiaria.

Dans le cas d'une association maïs (ou sorgho) + légumineuse, il est difficile de désherber chimiquement avec les matières actives disponibles à Madagascar. Le pendimethaline peut être utilisé pour contrôler les graminées (et quelques plantes à feuilles larges). Cependant, son coût élevé ne peut justifier de son utilisation que dans des situations très particulières (comme sur des *baibo* à très forte pression des graminées et en l'absence de main d'œuvre disponible). Sur des parcelles très infestées, on peut utiliser (si disponible) un herbicide de pré-levée sélectif du maïs (et du riz) comme le métolachlore ou l'alachlore. Il est ensuite possible de semer une légumineuse en association, après 3 à 4 semaines (la rémanence de ces herbicides étant de 15 à 20 jours).

Dans la plupart des cas, en l'absence de paillage ou sur un paillage peu épais, le contrôle des adventices dans une association maïs (ou sorgho) + légumineuse peut se faire par un léger sarclage ou un arrachage manuel. Un seul arrachage/sarclage est généralement suffisant pour obtenir un bon contrôle, le maïs s'élevant rapidement au dessus des adventices qui pourraient repousser, et les légumineuses associées couvrant rapidement le sol, gênant ainsi la germination et la croissance de nouvelles plantes.

Pour la culture de légumineuses

Le bentazone était utilisé à 960 g/ha, après le stade 2 feuilles du soja, du haricot ou de l'arachide (mais pas sur niébé, *Vigna umbellata*, *Stylosanthes guianensis*, etc.). Depuis son retrait, il n'existe pas d'herbicide homologué à Madagascar que l'on puisse utiliser sur culture de légumineuse pour contrôler des plantes à feuilles larges.

On ne trouve plus non plus à Madagascar de fluazifop-P-Butyl qui était utilisé en post-levée (et donc applicable à la demande, en fonction de la pression des adventices constatée) à la dose de 62.5 g/ha et pour un coût raisonnable. Désormais, pour le contrôle des graminées dans une culture de légumineuse pure, seul le pendimethaline (1 500 g/ha en pré-levée) peut éventuel-

**Le contrôle
des adventices**

**L'entretien
des cultures**



Début d'effet du 2,4-D sur dicotylédone, 24 heures après application dans le maïs

Le choix des itinéraires techniques

Le contrôle des adventices

lement avoir un intérêt, malgré son coût élevé, en cas de forte infestation (*Digitaria sp.*, etc.). En l'absence de ces herbicides, ou de moyens pour les acheter, le recours au paillage est intéressant si de la biomasse est disponible, d'autant plus qu'il permet d'augmenter fortement la production (avec le pois de terre en particulier).

De manière générale, un sarclage ou arrachage est suffisant sur ces cultures si leur développement est satisfaisant et l'intérêt de l'utilisation d'herbicide est très limité.

Pour la culture du cotonnier

La culture de cotonnier en première année pour entrer dans des systèmes de semis direct n'est pas recommandée (du fait de la faible biomasse qu'il produit).

La lutte contre les adventices se fait alors essentiellement par la préparation d'un paillage important pour les années suivantes. A noter l'intérêt d'un paillage de sorgho pour le contrôle des cypéracées souvent gênantes dans les cultures de cotonnier.

Pour la culture du manioc

L'utilisation d'herbicide pour le contrôle des adventices dans la culture de manioc n'est pas recommandée, d'autant plus qu'il est fortement conseillé d'associer le manioc avec *Bracharia sp.* ou *Stylosanthes guianensis*.

L'entretien des cultures



Contrôle des adventices par le mulch sous la pomme de terre
Photo : Rakotondramana

Pour la culture de la pomme de terre

La pomme de terre étant une culture souvent fortement fertilisée (car exigeante), la pression des adventices peut s'exercer fortement. Il n'existe cependant pas d'herbicide homologué à Madagascar qui soit intéressant pour cette culture. L'apport d'un paillage au sol est fortement recommandé si la biomasse est disponible. L'association avec une plante de couverture (avoine par exemple) reste la pratique la plus intéressante.

Utilisation d'herbicide total entre les lignes de culture, avec un cache

Pour les cultures à faible densité (maïs, cotonnier, etc.) ou conduites en doubles rangs, il est possible d'utiliser un herbicide total (glyphosate) en l'appliquant entre les rangs (ou les doubles-rangs) de la culture, avant le semis des plantes de couverture associées, avec un cache permettant d'éviter de toucher les plantes cultivées. Cette pulvérisation en bandes sur les inter-rangs des cultures peut se faire manuellement avec un pulvérisateur à dos, ou mécaniquement avec un matériel adapté.

Quelques erreurs à éviter concernant le contrôle des adventices

Quelques précautions élémentaires permettent de limiter les erreurs dans le contrôle des adventices. On doit en particulier s'organiser pour :

- éviter d'appliquer les herbicides dans de mauvaises conditions : forte chaleur, vent, risque de pluies dans les heures qui suivent. Effectuer la pulvérisation tôt le matin permet très souvent d'éviter ces conditions défavorables. Il faut également éviter d'appliquer les herbicides en employant de l'eau sale ou à pH élevé et, de manière générale, respecter les conditions d'utilisation préconisées pour ces produits. De mauvaises conditions d'application peuvent rendre les produits inopérants et engendrer de sérieuses difficultés pour le contrôle des adventices par la suite (en particulier pour le contrôle des adventices vivaces en année "zéro");
- éviter de semer en sec une trop grande surface sur laquelle devra être appliqué un herbicide de pré-levée. Ce traitement herbicide devra être effectué très rapidement après les premières pluies. Il faut donc être en mesure de réaliser la pulvérisation de l'ensemble des surfaces semées en un ou deux jours.



Le contrôle des plantes associées

4.5. Le contrôle des plantes associées durant la culture

La mise en place des cultures et des plantes associées a pour objectif d'optimiser la production totale en évitant la compétition entre culture et plante de couverture. Il se peut cependant que la plante de couverture entre en compétition avec la culture : mauvaise estimation

Le choix des itinéraires techniques

ou non-respect au semis de l'agencement dans l'espace et/ou des dates de semis des différentes plantes, développement trop lent de la culture principale, année climatique particulièrement sèche, etc. Dans une telle situation, il est indispensable de ralentir le développement de la plante de couverture avant qu'elle ne fasse une compétition préjudiciable à la culture.

Ce contrôle se fait généralement par simple fauche ou rabattage des plantes de couverture suffisamment tôt pour éviter qu'elles ne dominent la culture. Il peut ne pas être suffisant en cas de déficit hydrique marqué (les racines de la plante associée étant toujours en place et la plante très active végétativement après la fauche). L'utilisation d'herbicide peut alors être nécessaire dans ce cas là.

4.6. Le contrôle des plantes de couverture vives

La préparation d'une couverture végétale vive cherche à la contrôler suffisamment pour qu'elle ne fasse pas de compétition avec la culture, mais sans la tuer pour qu'elle puisse produire une biomasse importante après la récolte de la culture principale. Une telle gestion est cependant délicate et il arrive que la couverture vive redémarré trop rapidement, entrant en compétition avec la culture. Les observations régulières des parcelles doivent permettre de détecter les risques de compétition en cas de reprise trop rapide de la couverture (en particulier pour l'eau si les précipitations sont faibles). Dans ce cas, il est nécessaire de la contrôler durant la culture, ce qui demande :

- l'application d'un herbicide sélectif de la culture (comme le fluazifop-P-Butyl pour le contrôle de graminées dans une culture de légumineuse), méthode rapide et efficace mais qui demande la connaissance de ces herbicides et leur accès (coût et disponibilité) ;
- l'application sur les inter-rangs d'un herbicide total (avec un cache pour éviter que la culture soit touchée) dans le cas de cultures à faible densité comme le maïs, ou installées en doubles-rangs ;
- des fauches répétées de la plante de couverture. Certaines plantes comme le desmodium ou le kikuyu peuvent ainsi être gérées en couverture vive sans herbicide, par simples fauches avant semis puis régulièrement jusqu'à ce que la culture principale domine la plante de couverture. Cette méthode ne nécessite ni investissement, ni connaissance particulière et permet d'exporter partiellement la couverture pour l'alimentation animale. Elle est cependant très exigeante en travail, ce qui peut conduire à un contrôle insuffisant ou trop tardif de la couverture. Elle a aussi l'inconvénient de ne pas réduire la compétition de la couverture pour l'eau.

4.7. Les traitements phytosanitaires en culture

Les premières années de transition des systèmes conventionnels vers les SCV, le temps qu'un équilibre écologique soit restauré et que l'alimentation des plantes soit améliorée, la pression des bioagresseurs peut être très forte sur les cultures. Dans certaines conditions, le recours à des traitements phytosanitaires en cours de végétation peut être nécessaire. Ces traitements doivent cependant être limités autant que possible du fait de leur impact négatif sur la vie des sols, l'équilibre écologique et la santé des plantes à moyen terme.

Toute utilisation de ces produits doit être raisonnée (ce qui implique une bonne connaissance des bioagresseurs et des produits) et adaptée individuellement à chaque situation. De manière générale à Madagascar, étant donné la faible disponibilité des pesticides, l'utilisation de fongicides (mancozebe) est exceptionnelle et limitée uniquement aux cultures maraîchères (tomate, pomme de terre) sous forte pression de mildiou. L'emploi d'insecticides est plus fréquent mais reste limité à la production de graines de légumineuses particulièrement sensibles et au cotonnier. Le traitement se fait en cas d'attaques importantes à partir du stade bouton floral. Le principal produit employé est la deltaméthrine, à raison de 6,25 g/ha (0,25 l/ha de produit à 25 g/l de matière active) à 12,5 g/ha (en cas d'attaque de trips).

**Le contrôle
des plantes
de couverture
vives**

**L'entretien
des cultures**

Exemples de contrôle par fauches

Sur les hautes-terres, les paysans qui ont des vaches laitières préfèrent souvent conduire la culture de maïs dans une couverture vive de desmodium ou celle de haricot ou de soja dans le kikuyu, sans herbicide. Ils fauchent régulièrement les plantes de couverture (au prix d'un travail considérable, en particulier pour le kikuyu) et exportent une partie de la biomasse produite pendant la saison pour alimenter leurs animaux.

**Les
traitements
phytosanitaires
en culture**

Le choix des itinéraires techniques

L'emploi de ces produits toxiques requiert les précautions d'usage (couverture du corps, port de gants et de masque, nettoyage rigoureux du matériel et du corps à l'eau savonneuse, etc.). Les principales erreurs dans l'utilisation de ces produits proviennent d'une mauvaise connaissance, qui peut conduire à une utilisation abusive et/ou dans de mauvaises conditions, ou à l'inverse, d'un manque de suivi ou de réactivité qui entraînent un retard ou une absence de traitement qui aurait été nécessaire.

5. Récolte et post-récolte

La récolte se fait quand les plantes ont atteint leur maturité optimale (cf. Volume III . Chapitre 1. Fiches techniques par plante). La récolte dans les systèmes de semis direct se distingue de celle en systèmes conventionnels par :

- le besoin de restituer l'ensemble des pailles sur la parcelle, de manière aussi homogène que possible, et
- le fait d'avoir à récolter des plantes en association, avec des maturités parfois décalées, sans endommager les jeunes plantes éventuellement en cours de croissance sous la culture.

La récolte



Récolte du riz panicule par panicule
Photo : Rakotondramana

En pratique, les systèmes en semis direct qui fonctionnent grâce à un turn-over rapide de la biomasse cherchent à la maintenir sur place et à n'exporter que les grains. Pour cela, que ce soit en culture manuelle ou avec mécanisation, la coupe se fait aussi haute que possible et l'intégralité des pailles sont maintenues sur place ou restituées au sol après battage. La fauche haute a aussi pour avantage de maintenir la plupart de la biomasse sur pied, ce qui fait qu'elle se décompose moins vite que lorsqu'elle est en contact avec le sol où règne une forte activité biologique, et évite qu'elle soit emportée par les pluies ou le vent. Elle permet également d'avoir une répartition homogène des résidus de récolte. Ainsi, en semis direct, la récolte d'une culture est déjà une des opérations préparant la parcelle pour la culture suivante. A l'inverse, les systèmes conventionnels voient souvent dans les résidus de récolte abondants une contrainte pour le labour et cherchent à les exporter. La fauche se fait plus bas et les pailles sont exportées ou brûlées.

Le mode de récolte (manuelle ou mécanisée) a une incidence sur la conduite de la récolte et la gestion des résidus. Il a également une influence sur les systèmes à mettre en place, qui doivent pouvoir être récoltés avec les moyens employés.

5.1. Récolte manuelle

La récolte manuelle est très largement dominante dans les conditions de Madagascar, dans le cadre d'une petite agriculture familiale, avec des petites parcelles et des moyens d'investissement très limités. Elle a les avantages de ne pas demander d'investissement et de permettre la récolte de tout type d'association de cultures (en prenant garde à ne pas endommager les éventuelles jeunes plantes dans le cas des cultures en relais). Elle demande cependant un travail très important, ce qui peut poser problème pour récolter l'ensemble des cultures à un stade optimal de maturité si toutes les cultures arrivent à maturité au même moment. La récolte manuelle de parcelles semées mécaniquement (et donc rapidement) est souvent problématique. En cas de forte contrainte en main d'oeuvre à la récolte, il peut être intéressant de décaler les semis ou d'utiliser plusieurs variétés de cycles différents, pour permettre une récolte étalée sur une plus longue période de temps.

Les pratiques traditionnelles varient en fonction du type de plante et des habitudes. Elles doivent souvent être "aménagées" pour mieux s'intégrer dans des systèmes conduits en semis direct sur couverture végétale permanente, en particulier pour la restitution des pailles.

Grandes céréales (maïs, sorgho, mil)

Les grandes céréales sont de manière générale récoltées épi par épi, ce qui laisse sur pieds l'ensemble des plantes. Les cultures associées, en général à cycle plus long que ces céréales,

Le choix des itinéraires techniques

ne sont pas endommagées par ce mode de récolte et peuvent grimper sur les cannes laissées en place, en particulier pour les légumineuses volubiles (dolique, *Vigna umbellata*, certains niébés). Le fait de maintenir les cannes en place ralentit aussi leur dégradation, alors que leur décomposition est plus rapide une fois couchées au sol. Le maintien des cannes sur pied est particulièrement important en cas de forte pression des termites qui les décomposent très rapidement dès qu'elles sont en contact avec le sol. Pour retarder cette décomposition, on peut, à la récolte, plier les cannes en deux ce qui retarde leur chute quand elles s'affaiblissent et évite qu'elles soient couchées par le vent.

Céréales à pailles courtes (riz, blé, avoine, etc.)

La récolte manuelle des céréales à paille courte peut se faire :

- panicule par panicule ou épi par épi avec un petit couteau, ce qui est exigeant en temps mais permet une récolte "étagée" (d'un mélange de variétés par exemple) et surtout conserve en place la plus grande partie des pailles.
- par fauche à la faucille (qui permet éventuellement de choisir les pieds à maturité) ou à la faux (plus rapide mais ne permettant pas une récolte "étagée"). Dans ces cas, une partie importante des pailles est sortie de la parcelle pour réaliser le battage qu'il soit manuel, par piétinement ou mécanisé. Un tel mode de battage "à poste fixe" concentre la biomasse sur une partie de la parcelle (ou à l'extérieur). En agriculture conventionnelle, cette paille est souvent brûlée, ou éventuellement exportée pour les animaux. En semis direct, elle doit être rapportée sur la parcelle de la manière la plus homogène possible, une épaisseur de paille trop importante étant gênante pour le semis (et la gestion de la fertilité), alors qu'à l'inverse une couverture insuffisante ne permet pas d'alimenter convenablement la litière et de contrôler les adventices. Pour limiter les transports de paille, la coupe en semis direct doit être faite aussi haut que possible, ce qui n'est pas toujours facile en conduite manuelle, peut ralentir la récolte et rendre le battage difficile.

La récolte



Légumineuses à graines aériennes (soja, haricot, dolique, niébé, *Vigna umbellata*, etc.)

Comme pour les céréales à paille courte, la récolte manuelle des légumineuses à graines peut se faire :

- gousse par gousse, ce qui maintient sur place les parties végétatives des plantes et permet une récolte "étagée" (ce qui augmente fortement la production dans le cas de plantes à floraison et fructification étalées comme le niébé), ou
- par fauche à la faucille et battage (en général manuel), pratique plus rapide surtout pour les plantes à petites graines, mais qui demande pour le semis direct à ce que les fanes soient retransportées et étalées dans la parcelle (même si elles représentent une biomasse moins importante que les pailles de céréales).

Légumineuses à graines enterrées (arachide, pois de terre)

La récolte des légumineuses à graines enterrées se fait par arrachage des plants. En semis direct, ces légumineuses positionnent leurs gousses en surface du sol, juste sous le paillage, ce qui fait que l'arrachage est facile, rapide et ne perturbe que faiblement le sol.

Comme pour les autres légumineuses, le battage se faisant "à poste fixe", il est nécessaire pour le semis direct de rapporter les fanes sur la parcelle afin d'alimenter la litière.

Racines (manioc) et tubercules (pomme de terre, patate douce, etc.)

La récolte manuelle des racines et tubercules se fait par arrachage, ce qui implique une perturbation du sol. Cette perturbation est toutefois limitée pour les tubercules, du fait qu'en semis direct ils se développent en surface, sous le paillage. Elle est un peu plus importante



Récolte manuelle du pois de terre sur couverture de chiendent. Gousses en surface, sous le paillage

Le choix des itinéraires techniques

dans le cas du manioc qui se développe dans le sol. Cependant, la bonne structure du sol entretenue par le semis direct et la production de racines tubérisées essentiellement dans l'horizon superficiel font que l'arrachage se fait facilement, sans perturber profondément le sol. Dans tous les cas, les parties aériennes (quand elles ne sont pas consommées) ne sont pas transportées et peuvent être laissées sur place lors de la récolte.

Pour les tubercules comme la pomme de terre, qui se conservent après la récolte mais ne se conservent pas dans le sol après maturité, la récolte se fait en une seule fois. A l'inverse, le manioc qui se conserve très mal (quelques jours seulement sans traitement post-récolte) peut être conservé en terre très longtemps. Sa récolte peut être étagée sur plusieurs mois et se fait au fur et à mesure des besoins.

5.2. Récolte et battage mécanisés

La récolte et le battage mécanisés demandent un investissement important, ne sont possibles que sur de grandes parcelles, mais permettent de couvrir de grandes surfaces en peu de temps. La récolte au stade optimal de maturité peut ainsi se faire sur l'ensemble de grandes parcelles ou exploitations.

L'utilisation d'une moissonneuse-batteuse pour la récolte et le battage "à poste mobile" permet de restituer l'intégralité des pailles (et des enveloppes des grains) sur la parcelle, de manière très homogène. La hauteur de coupe est facilement réglable, ce qui permet de laisser la plupart de la biomasse sur pied et ralentit ainsi sa décomposition.

Il est aussi possible de semer certaines cultures (les petites graines) au moment de la récolte de la culture précédente, à la volée ou grâce à des distributeurs installés sous la moissonneuse. Ces graines seront légèrement recouvertes par la paille répartie derrière la moissonneuse.

La récolte d'une culture dans laquelle une plante de couverture a été installée en relais, quelques semaines avant la récolte, est également possible.

En revanche, la récolte mécanisée ne permet pas (ou très difficilement) de récolter des cultures en association ou des mélanges de variétés, avec des maturités étagées.

De plus, la mécanisation de la récolte des plantes souterraines (tubercules et racines, légumineuses qui enfouissent leurs graines) engendre une forte perturbation du sol par les outils. Elle ne respecte donc pas un des principes fondamentaux du semis direct sur couverture végétale permanente. Quand ces plantes ont un intérêt économique fort, elles peuvent toutefois être introduites dans des systèmes de culture en SCV, à condition de ne pas apparaître trop fréquemment dans les successions et d'être suivies de systèmes avec très forte production de biomasse, pour relancer rapidement le fonctionnement des systèmes en SCV.

6. Conclusions

En semis direct sur couverture végétale permanente, les itinéraires techniques visent avant tout à rendre performants les systèmes de culture qui assurent en premier lieu les fonctions agronomiques essentielles.

Le choix de l'itinéraire technique est un processus complexe, qui se fait en interaction avec le choix des cultures et associations/successions à mettre en place, en fonction des moyens disponibles et des objectifs.

Le semis est une étape fondamentale qui influence l'ensemble des opérations à mener par la suite et a un impact majeur sur la production finale. Dans tous les cas, l'itinéraire technique doit être ajusté à chaque étape en fonction des conditions réelles de la parcelle à la suite des opérations précédentes. Ces ajustements demandent un suivi précis des parcelles avec des observations fines du développement des plantes et l'évaluation régulière des risques de dommages sur les cultures. Ils demandent une forte réactivité et des capacités d'adaptation aux événements imprévus, qui ne manquent pas d'arriver au cours d'un cycle cultural.



Riz pluvial après maïs + dolique